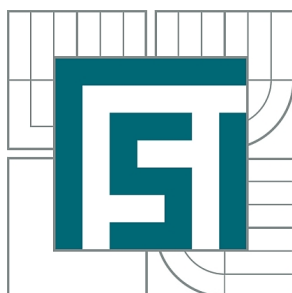




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SEKUNDÁRNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO **MOBILNÍ ROBOTIKU**

SECONDARY RESOURCES OF ELECTRICAL POWER FOR MOBILE ROBOTICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DAVID ŠPAČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOŠ SYNEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Špaček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Sekundární zdroje elektrické energie pro mobilní robotiku

v anglickém jazyce:

Secondary resources of electrical power for mobile robotics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte rešerši stavu používaných akumulátorů v mobilní robotice.

Porovnejte používané typy akumulátorů z hledisek konstrukce, technologie, životnosti, aplikace atd.

Porovnejte způsoby nabíjení.

Cíle bakalářské práce:

Průřez používaných typů akumulátorů v mobilní robotice a průmyslových aplikacích.

Seznam odborné literatury:

Novák, Petr.

Mobilní roboty : pohony, senzory, řízení / Petr Novák. Vyd. 1. Praha : BEN - technická literatura, 2004. 247 s. ISBN 80-7300-141-1

Nehmzow, Ulrich

Mobile Robotics : A Practical Introduction / Ulrich Nehmzow. 2nd ed. London : Springer, 2003. 280 s. ISBN 1852337265

Kárník, Ladislav

Mobilní roboty Kárník, Ladislav 1. vyd. Opava MÁRFY SLEZSKO 2000 212 s. ISBN 80-902746-2-5

Kolíbal, Zdeněk

The McGraw-Hill illustrated encyclopedia of robotics and artificial intelligence Gibilisco, Stan New York McGraw-Hill 1994 420 s. ISBN 0-07-023614-3

Knoflíček R., Kárník L., Novák-Marcinčin J.: Mobilní roboty, Márfy Slezsko, Opava, 2000

Cenek M., Hodinář V., Jindra J., Kozumplík J., Svoboda A.: Akumulátory a baterie, knižnice Elektro, svazek 30, STRO.M, s.r.o., Praha 1996

internet a stránky jednotlivých výrobců

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloš Synek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 15.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Hlavním cílem práce je porovnání a sjednocení dostupných sekundárních zdrojů pro mobilní robotiku z hlediska jejich výkonnosti, trvanlivosti, složení, hmotnosti a ceny. Práce by měla sloužit k výběru vhodného napájecího zdroje, potřebného k provozu určitého mobilního zařízení, při známých provozních parametrech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sekundární zdroje, akumulátory, Ni-Cd, Ni-MH, Ni-Zn, Li-Ion, Li-Pol, Li-Fe, olověné akumulátory, nabíjení, vybíjení, pohony mobilních robotů.

ABSTRACT

The main aim of this BA thesis is comparison and unification of secondary resources used for mobile robotics. Especially through their performance, durability, composition, weight and price. The work should be used for choosing of the proper power supply needed for working some mobile device, if there are known basic operating parameters.

KEYWORDS

Secondary sources, accumulators, Ni-Cd, Ni-MH, Ni-Zn, Li-Ion, Li-Pol, Li-Fe, lead acid battery, charging, discharging, mobile robotic drives.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPAČEK, D. *Sekundární zdroje elektrické energie pro mobilní robotiku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 67 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloš Synek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Miloše Synka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2013

.....

David Špaček



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Miloši Synkovi za cenné rady a odborné vedení práce.



OBSAH

Úvod	8
1 Mobilní roboty	9
1.1 Druhy pohonů a pohybu mobilních robotů	9
1.2 Kolové podvozky	10
1.3 Pásové podvozky	10
1.4 Kráčejší podvozky	11
1.5 Plazivé podvozky	12
1.6 Hybridní podvozky	12
2 Elektrické články	13
3 Pojmy a definice	15
3.1 Elektrolyty	15
3.2 Elektrody	15
3.3 Kapacita akumulátoru (C)	16
3.4 Napětí akumulátoru (U)	17
3.5 Nabíjecí proud	17
3.6 Proudové nabíjení	17
3.7 Napěťové nabíjení	18
3.8 Konečný nabíjecí proud	19
3.9 Vybíjecí proud	19
3.10 Konečné napětí	19
3.11 Maximální nabíjecí napětí	19
3.12 Ztráta kapacity během skladování nabitého akumulátoru	19
3.13 Paměťový efekt	19
3.14 Článek vs. baterie	20
3.15 Životnost	20
4 Akumulátory olověné	22
4.1 Historie a přítomnost	22
4.2 Klady a zápory	22
4.3 Princip	23
4.4 Výkon	25
4.5 Provoz	25
4.6 Nabíjení	28
4.7 Skladování	29
4.8 Výrobci	30



5	Akumulátory Ni-Cd.....	31
5.1	Historie.....	31
5.2	Klady a zápory	32
5.3	Princip.....	32
5.4	Výkon.....	34
5.5	Provoz	35
5.6	Nabíjení.....	35
5.7	Skladování	35
5.8	Výrobci	37
6	Akumulátory Ni-MH.....	38
6.1	Historie.....	38
6.2	Klady a zápory	38
6.3	Princip.....	39
6.4	Výkon.....	40
6.5	Provoz	41
6.6	Nabíjení.....	41
6.7	Skladování	42
6.8	Výrobci	43
7	Akumulátor Ni-Zn	44
7.1	Historie.....	44
7.2	Klady a zápory	45
7.3	Princip.....	45
7.4	Výkon.....	46
7.5	provoz	47
7.6	Nabíjení.....	48
7.7	Výrobci Ni-Zn článků	49
8	Li-Xx akumulátory	50
8.1	Historie.....	50
8.2	Klady a zápory	51
8.3	Princip.....	52
8.4	Výkon.....	53
8.5	Provoz	55
8.6	Nabíjení.....	56
8.7	Skladování	57
8.8	Výrobci	57
	Závěr.....	58



Použité informační zdroje.....	59
Seznam použitých zkratk a symbolů	62
Seznam tabulek.....	63
Seznam obrázků.....	63
Seznam příloh.....	65



ÚVOD

Mobilní robotika vždy patřila a bude patřit mezi primární zájmy výzkumu lidské populace. Její počátek spadá do poloviny dvacátého století a od té doby prošla velkými pokroky. Nedílnou součástí vývoje mobilní robotiky je i vývoj přenosných lehkých a výkonných akumulátorů (sekundárních zdrojů), které daný přístroj zásobují energií po požadovanou dobu provozu.

V dnešní době je těchto zdrojů již mnoho druhů. Vzhledem k jejich rozšíření mezi obyčejné obyvatelstvo vyplynulo na povrch několik faktů a mýtů o jejich nabíjení, vybíjení, skladování a udržování. Což je zřejmě dáno generačními rozdíly uživatelů a samozřejmě způsobeno samotným vývojem v sekundárních zdrojích, a ty je potřeba uvést na pravou míru. Dnes již pro akumulátory neplatí to samé co před patnácti až třiceti lety.

Tato práce je psána nejen pro inženýry a výzkumníky v oblasti mobilní robotiky, ale také pro širokou veřejnost, jelikož za mobilní zařízení se považují i notebooky, laptopy, tablety, fotoaparáty, mobilní telefony, elektrokola atd. Měla by být přínosem pro lidi v oblasti RC modelářství, kde je také zapotřebí špičkového vybavení. V posledních letech elektrické motory nejen modelů letadel, aut a další techniky, nahradily spalovací, jelikož jejich efektivita značně vzrostla s využitím střídavých motorů. Zároveň výrazně klesla hmotnost soustavy s objevem lithiových akumulátorů.

V práci jsou definovány známé dostupné sekundární zdroje, jejich principy fungování a udržování. Závěr obsahuje tabulkové shrnutí výhodnosti využití daných technologií s ohledem na jejich výkon, hmotnost a průměrnou cenu.



1 MOBILNÍ ROBOTY

Za vůbec první mobilní roboty jsou považovány „chytré bomby“ z období let 1939-1945, kdy se během druhé světové války začaly mohutně rozvíjet obory počítačové techniky a kybernetiky. Tyto létající bomby vybuchující v určité vzdálenosti od cíle využívaly vojenské naváděcí a radarové systémy. Příkladem jsou střely V1 a V2, které měly velice prostého autopilota s automatickým detonačním systémem. Byly to předchůdkyně dnešních moderních řízených střel.¹

Tyto střely se ovšem nedají považovat za plnohodnotné mobilní roboty, tak jako je známe dnes. Proto jsou za takové mobilní roboty považovány až výtvoři Williama Grey Waltera, který v roce 1948 sestrojil autonomní dvojici „želvích“ robotů Elmer a Elsie, zvaných také Machina Speculatrix. Tito želví roboti byli schopni se samostatně pohybovat po okolí a vyhledat nabíjecí stanici v případě kritického stavu akumulátoru.²

1.1 DRUHY POHONŮ A POHYBU MOBILNÍCH ROBOTŮ

V předchozí kapitole byl zmíněn samostatný pohyb po okolí. Proto je důležité dobře rozvrhnout pohybový systém daného robotu, a to především s ohledem na zakřivení terénu, povrch a jeho strukturu, na kterém bude robot svoji činnost vykonávat. Existuje několik druhů pohybových mechanismů (podvozků) mobilních robotů. Jsou to mechanismy „kolové, pásové, polštářové, kráčející, plazivé a hybridní.“³

¹ Mobile robot [online]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org>

² History of Robotics: Timeline [online]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com>

³ NOVAK P. *Mobilní roboty*. 2005, s. 13.



1.2 KOLOVÉ PODVOZKY

Bývají obvykle 1,2,3,4,6 a více kolové, nebo speciální.



Obr. č. 1: Speciální kolový podvozek Obr. č. 2: Diferenční kolový podvozek

(Zdroj obr. č. 1 : <http://www.conscious-robots.com/en/reviews/robots/49.html>)

(Zdroj obr. č. 2: <http://www.robotshop.com/ca/dr-robot-jaguar-4x4-mobile-platform-chassis-motors-3.html>)



Obr. č. 3: Směrový kolový podvozek s natáčenou přední nápravou (Ackermanův)

(Zdroj: <http://andras.tantosonline.com/robot.htm>)

1.3 PÁSOVÉ PODVOZKY

Stejně jako u soustav kolových se jedná o umělé (nebiologické) soustavy. Odvíjejí se od objevu páky a kladky člověkem.⁴



Obr. č. 4: Pásový podvozek diferenční

(Zdroj: <http://www.ecvv.com/product/3815300.html>)

⁴ NOVÁK P. *Mobilní roboty*. 2005, s. 13.



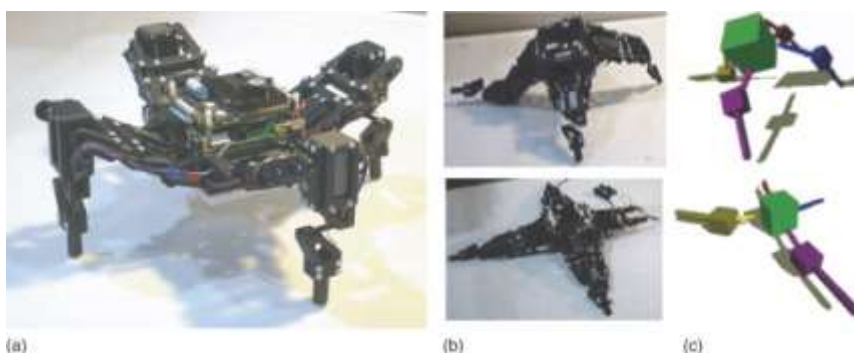
1.4 KRÁČEJÍCÍ PODVOZKY

Dělí se na 1,2,3,4,5,6,7,8 nohé, kulhavé a šplhající. Jedná se o tzv. biologické soustavy a vycházejí z historie, kdy byla příroda pozorována a napodobována člověkem.⁵



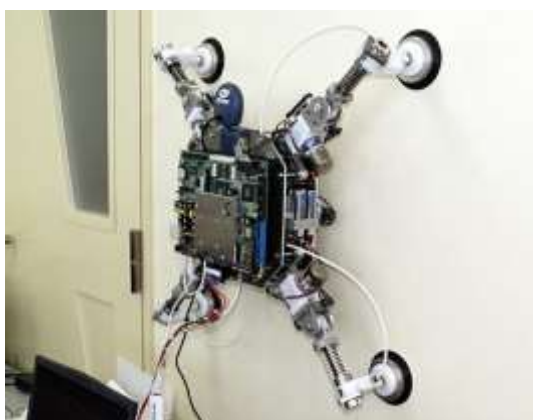
Obr. č. 5: Kráčející 6ti nohý podvozek

(<http://images.sciencedaily.com/2010/01/100117150824.jpg>)



Obr. č.6: Kulhavý podvozek

(<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0079612307680182-pl9a.jpg>)



Obr. č.7: Šplhající podvozek

(http://www.newlaunches.com/wp-content/uploads/2013/01/otaruph_021.jpg)

⁵ NOVÁK P. *Mobilní roboty*. 2005, s. 13.



1.5 PLAZIVÉ PODVOZKY

Jedná se o podvozky, které velice věrně napodobují pohyb živých plazů. Spadají tedy stejně jako předchozí typ do kategorie biologických podvozků.

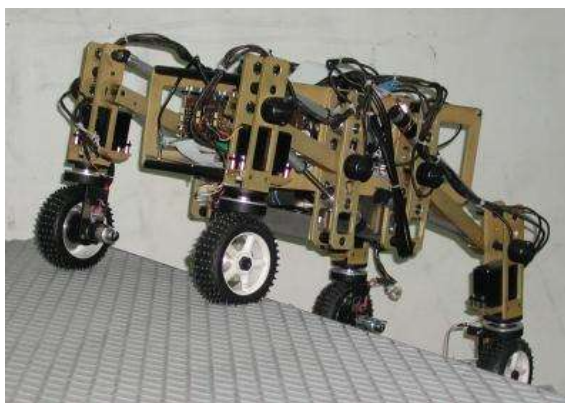


Obr. č. 8: Plazivý podvozek

(http://www.snakerobots.com/images/Stills/S5_high750.jpg)

1.6 HYBRIDNÍ PODVOZKY

Bývají sestaveny z dvou a více druhů podvozků. Například kračející-kolový, nebo pásový s opěrným ramenem.



Obr. č. 9: Hybridní kráčeji-kolový podvozek

(http://www.lasmea.univ-bpclermont.fr/jnrr03/I/I14-Hylos_p.jpg)



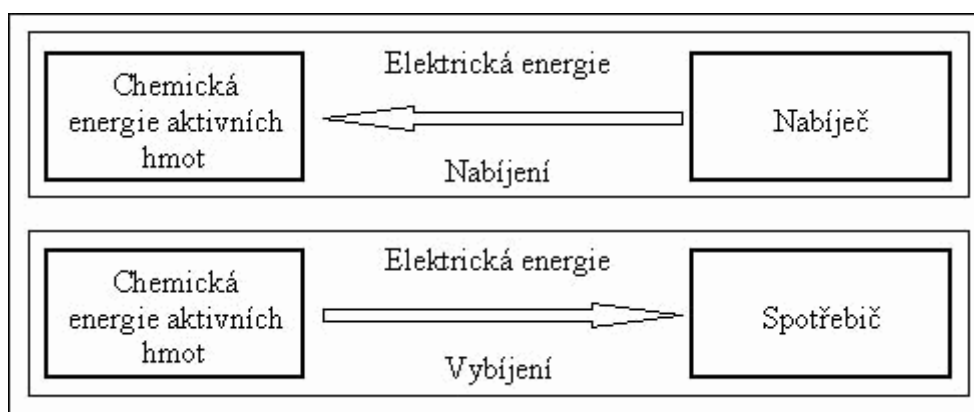
2 ELEKTRICKÉ ČLÁNKY

V předchozí kapitole byly zobrazeny možnosti pohybů robotů. Samozřejmě tím nejefektivnějším je pohyb na kolovém podvozku. Toto ovšem není využitelné ve všech aplikacích, případně výzkumech. A tedy s druhem pohybu je spojen i jeho zdroj napájení, který musí být dostatečně stabilizovaný a nadimenzovaný pro požadované špičkové výkony a odběry.

Primární články, jsou články mající omezené množství reaktantů, které již není možné po jejich vybití znovu převést pomocí vnějšího elektrického proudu v původní reaktanty. Jde tedy o články na jedno použití a hovorově se nazývají baterie.⁶

Mezi nejběžnější primární články patří články s burelovou (MnO_2) katodou a zinkovou anodou. Pokud obsahují solný elektrolyt, nazývají se Leclanchéovy články. Obsahují-li (KOH) elektrolyt, jde o alkalické burelové články, které je možno i nabíjet, přesněji řečeno dobíjet, jsou-li vybity jen částečně. Jedná se tedy současně o články sekundární. Podobně jsou na tom i články štříbrnozinkové a rtuťové. Slouží však převážně jako články primární.

Elektrické akumulátory (sekundární články) jsou chemické zdroje elektrické energie, které jsou v průběhu nabíjení schopné přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a ukládat ji (akumulovat) ve svých elektrodách jako energii chemickou (změnou chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod). Při vybíjení dodává akumulátor elektrickou energii do spotřebiče, při tom se mění chemické složení aktivních složek elektrod, chemická energie v nich akumulovaná se mění na energii elektrickou. Schématické zobrazení je na obrázku níže.⁷



Obr. č. 10: Přeměna energií

(<http://www.battex.info/elektrochemicke-zdroje-proudu-obecne/definice>)

⁶ ČENĚK M. *Akumulátory od principu k praxi*. 2003, s. 18.

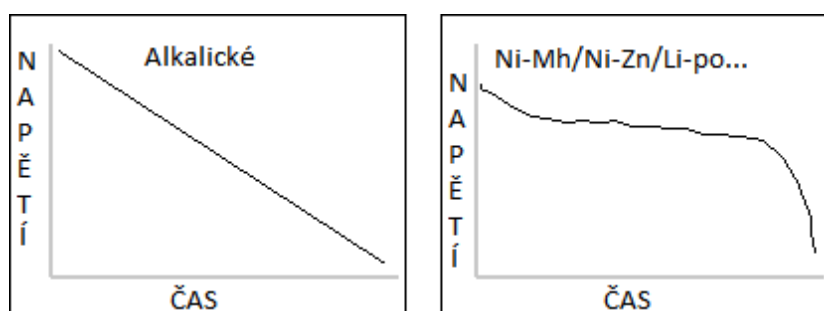
⁷ Definice [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info/>



Každý mobilní robot potřebuje zdroj energie, ze kterého bude napájen jeho řídicí a senzorický subsystém včetně pohybového. Ten má obvykle nejvyšší nároky na odběr energie. Mobilní robot může být v bodě oživování napájen z externího stabilizovaného zdroje napětí. Což není příliš vhodné při jeho reálném nasazení. Robot je tedy nutné napájet z jeho vlastní energetické jednotky. Nejrozšířenějšími jsou v této oblasti primární články (baterie), nebo sekundární (akumulátory). Mezi hlavní parametry při volbě vhodného typu článku patří maximální proudová zatížitelnost, velikost vnitřního odporu, rychlost samovybití, životnost, kapacita, teplotní podmínky okolí, počet nabíjecích cyklů, existence, či neexistence paměťového efektu a v neposlední řadě rozměry a hmotnost.

Akumulátory, podle druhu provedení dokáží realizovat až 1000 cyklů. Vyráběny jsou v mnoha variacích, přičemž tvar mají stejný jako jejich klasické protějšky s tím, že zde existují zcela odlišné konstrukce určené například pro notebooky, mobilní telefony a jiná moderní přenosná zařízení, jejichž tvar je jim speciálně přizpůsoben. Pokud jde o druhy materiálů používaných k výrobě a vlastní funkci akumulátorů, pak dominovaly nikl-kadmiové (Ni-Cd). Dále akumulátory nikl-metalhydridové (Ni-MH), lithium-iontové (Li-ion) a z automobilů známé klasické olovené akumulátory. Poslední dobou se začínají velice dobře prosazovat také akumulátory lithium-polymerové (Li-pol) ⁸ a akumulátory lithium-metalické, jako například lithium-železo (Li-FePO₄), lithium-kobalt (Li-CoO₂), lithium-mangan (Li-Mn₂O₄), lithium-nikl (Li-NiO₂) ⁹ a nikl-zinkové (Ni-Zn).

Výhodou těchto akumulátorových článků oproti alkalickým, nebo jiným nedobíjitelným článkům je v tom, že si dokáží během vybíjecího cyklu udržet přibližně konstantní napětí v zátěži, až do okamžiku téměř úplné ztráty náboje. Nevýhodou však bývá nižší jmenovité napětí. O tom vypovídá následující dvojice grafů.



Obr. 11: Pokles napětí při vybíjení.

(Zdroj: <http://michaelbluejay.com/batteries/rechargeable.html>)

⁸ NOVÁK P. *Mobilní roboty*. 2005, s. 214.

⁹ Rozdělení podle použití válcových Li-aku [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



3 POJMY A DEFINICE¹⁰

Pro správné pochopení funkce primárních a sekundárních článků, je důležité rozumět základním pojmům užívaných při jejich výrobě a provozu. Zde je několik z nich uvedeno.

3.1 ELEKTROLYTY

Elektrolyty dělíme podle chemického složení na :

Kyselé elektrolyty (H_2SO_4) používané v olověných akumulátorech,

alkalické elektrolyty (KOH) používané v Ag-Zn, Ni-Cd a palivových člancích $\text{O}_2 - \text{H}_2$ a jiných dostupných elektrochemických zdrojích proudu,

neutrální elektrolyty , jako jsou primární hořčíkové články aktivované vodou s obsahem chloridů, popřípadě články voda-lithium,

nevodné elektrolyty - používány jen ty, ve kterých může dojít k disociaci rozpuštěných solí a u alkalických kovů nedojde k rozpuštění za vzniku vodíku,

taveniny solí, které obsahují pohyblivé ionty obojí polarity. Jako elektrolyt se používá například směs $\text{LiBr} + \text{KBr}$, nebo $\text{LiCl} + \text{KCl} + \text{Li}_2\text{S}$. Tyto články operují v teplotách roztavených solí, tedy 400 až 600 °C,

tuhé elektrolyty – tvoří je unipolární iontové krystaly s unipolární vodivostí, která velmi závisí na teplotě. Pro nízkoteplotní provoz až do -55 °C se užívá jako elektrolyt v Ag-RbAg₄I₅-RbI₃ člancích. Pro vysokoteplotní akumulátory sodík-síra, provozované v rozpětí teplot 300 až 350 °C se jako elektrolyt používá polyhlinitan sodný, který současně slouží jako separátor oddělující od sebe roztavené reaktanty sodíku a síru. Pro články pracující při teplotě kolem 1000 °C se jako elektrolyt užívá keramika ve složení $\text{ZrO}_2 \cdot 0,17\text{CaO}$, nebo $\text{ZrO}_2 \cdot 0,11\text{Y}_2\text{O}_3$ s anodami na bázi ceru, nebo lanthanu a s katodami Pt, Ag a oxidy zinku a zirkonu.¹¹

Nejužívanější jsou dosud vodné elektrolyty. Jejich nevýhodou je vývoj plynů kyslíku a vodíku následkem elektrolýzy vody v elektrolytu.

3.2 ELEKTRODY¹²

Elektroda je základní část akumulátoru, na jehož konstrukci závisí, jakou má akumulátor kapacitu, efektivní vybíjecí a nabíjecí proud, jakou bude mít životnost v cyklickém, nebo trvalém dobíjecím provozu. Obecně se jedná o typ vodiče elektrického proudu, sloužící pro kontakt s nekovovými částmi obvodu (např. polovodič, elektrolyt, vakuum, prostor naplněný

¹⁰ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 20-70.

¹¹ ČENĚK M. *Akumulátory od principu k praxi*. 2003, s. 24.

¹² Tamtéž , s. 36.



plynem). Elektrody jsou složeny z proudového kolektoru a aktivního materiálu. Používají se potenciometrické, svářecí, nebo třeba medicínské elektrody. Jsou též součástí galvanických článků. Podle chemických reakcí, které na nich vznikají, se dělí na anody a katody a podle jejich počtu na elektrody prvního a druhého druhu.

Lisovaná elektroda je připravována ve formě tablet lisováním směsi elektrochemicky aktivní látky a vodivé složky. Vodivou složkou bývá práškový grafit, nebo kovový prach. Předností těchto elektrod je jednoduchá a levná výroba. Problémem však je zhoršený kontakt aktivní hmoty s elektronově vodivou složkou. Což způsobuje vyšší vnitřní impedanci.

Sintrované elektrody (spékané elektrody) jsou vyráběny ve formě tenkých destiček o tloušťce 0,6 až 0,8 mm nanesením a spékáním niklového prachu na kovovou síťku, nebo perforovaný plech. Tato pevná vodivá deska obsahuje minimálně 80 % pórů reagujících s povrchem. Do těchto pórů je vpraven roztok solí kovů elektrochemicky aktivních látek, které se následným procesem převedou na nerozpustné elektrochemicky aktivní elektrody.

Jsou hojně využívány při výrobě válcových hermetických akumulátorů určených pro extrémní proudové zátěže.

Výhodou těchto elektrod je výborná elektronová vodivost, dokonalý kontakt aktivních látek a značná mechanická pevnost. Nedostatkem těchto elektrod je vysoká cena a menší obsah elektrochemicky aktivních látek.

Plastem pojené elektrody vznikají nanášením směsi elektrochemicky aktivní látky, vodivé složky a pojiva na kolektor tvořený perforovaným plechem, nebo kovovou tkaninou. Tudíž jsou velice levné, a mohou obsahovat zvýšený podíl aktivní hmoty a tím vykazovat zvýšenou kapacitu. Obsah pojiva zvyšuje impedanci, a tedy se tyto články nehodí pro zátěže velmi vysokými proudy.¹³

3.3 KAPACITA AKUMULÁTORU (C)

Kapacita akumulátoru udává velikost elektrického náboje, který může tento článek dodat při vybíjení. Velikost je obvykle udávána v ampérhodinách (Ah) u větších akumulátorů, nebo v miliampérhodinách (mAh) u menších.

Skutečná kapacita akumulátoru, je hodnota kapacity naměřená za určitých podmínek a je obvykle měnná opotřebením akumulátoru, podmínkách nabíjení, teplotě okolí, konečném vybíjecím napětí, velikosti vybíjecího proudu, aktuálním fyzickým stavu akumulátoru a dalších.

¹³ Plastem pojená elektroda [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



Jmenovitá kapacita akumulátoru (C_5) je hodnota udaná výrobcem a udává kapacitu, kterou může samotný čerstvý článek dodat při 5ti hodinovém vybíjení do konečného napětí. (u NiCd a NiMH je to 1.0 V) při 20 °C. Nové normy udávají pojem „zaručená kapacita“ (C_n), kde n znamená počet hodin vybíjení, kdy byla kapacita měřena.

3.4 NAPĚTÍ AKUMULÁTORU (U)

Napětí na akumulátoru se dělí na **jmenovité** a **skutečné**.

Jmenovité napětí je stanoveno normou a bývá uvedeno na výrobku. Obvykle mívá hodnotu průměrného napětí během vybíjení za standardních podmínek. Například pro Ni-Cd a Ni-MH akumulátory je jmenovité napětí 1,2 V, pro Li-Ion 3,6 V a pro Li-Pol 3,7 V.

Skutečné napětí je napětí naměřené na svorkách akumulátoru. Na jeho velikost má vliv nabitost akumulátoru, teplota, směr protékajícího proudu a další faktory. Při měření nezátíženého akumulátoru, se jedná o **napětí naprázdno**.

Napětí akumulátoru a jeho závislost na velikosti dodaného náboje se zobrazuje **nabíjecími křivkami** a průběh při vybíjení je zobrazován **křivkami vybíjecími**. Někdy bývá uvedeno i **maximální nabíjecí napětí**, které nesmí být nikdy překročeno a také **minimální vybíjecí napětí** akumulátoru, pod které nesmí být akumulátor nikdy vybit.

3.5 NABÍJECÍ PROUD (I_T)

Nabíjecí proud je stejnosměrný proud procházející akumulátorem při nabíjení, může být konstantní, nebo proměnný a to buď periodicky, nebo nepravidelně se měnící. Značí se I_t a vypočítá se jako $I_t = C_r/n$ kde C_r je zaručená kapacita deklarovaná výrobcem a n je časová základna v hodinách, v níž je zaručená kapacita deklarována.

Velikost nabíjecího proudu se udává jako absolutní hodnota v ampérách (A), nebo v mA. Nejčastější je ovšem zobrazení pomocí násobků jmenovité kapacity článku. Například nabíjecí proud 5 A u článku s kapacitou 10 Ah je vyjádřen jako $C/2$. Tato hodnota NESMÍ být překročena, jinak může dojít ke zničení, případně i explozi akumulátoru.

3.6 PROUDOVÉ NABÍJENÍ

Pro jednotlivé typy nabíjení je výrobcem stanoven dovolený rozsah nabíjecích teplot, který musí být dodržen. Rychlejší nabíjení vede k užšímu rozsahu povolených teplot. Normální, trvalé a konzervační nabíjení je povoleno pro všechny typy NiCd a NiMH akumulátorů. Ostatní způsoby lze využít jen za podmínek stanovených výrobcem.



Normálním nabíjením je považováno nabíjení hermetických akumulátorů proudem $0,1 \cdot I_t$ po dobu 12 až 16 hodin. Tento proud je určen normou pro zkušební účely, jako například stanovování jmenovité kapacity akumulátoru. Povolený teplotní rozsah je 0 až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro provozní nabíjení a $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro měření kapacity článku. Normální nabíjení je vhodné pro články po dlouhodobém skladování.

Zrychlené nabíjení je nabíjení po dobu 4 až 8 hodin. Pro dobu nabíjení 4 až 5 hodin se využívá nabíjecí proud o velikosti $0,3 \cdot I_t$. Pro 8hodinové nabíjení je vhodný proud $0,2 \cdot I_t$. Povolený teplotní rozsah je od $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ a už 8hodinového nabíjení až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Rychlé nabíjení je nabíjení proudem $0,5$ až $1 \cdot I_t$ v trvání 1 až 2 hodin. Toto nabíjení je povoleno až od teplot $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Některé akumulátory NiMH dovolují nabíjení s dolní hranicí $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a speciální konstrukce i $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při rychlém nabíjení se **nedoporučuje** ukončení nabíjení hlídané časem, ale ukončení teplotní, nebo napěťové.

Velmi rychlé nabíjení je nabíjení o délce trvání 15 minut až jedné hodiny. Proud je roven 1 až $4 \cdot I_t$. Využívá se především pro NiCd akumulátory se sintrovanými elektrodami určenými pro akumulátorové nářadí. Při tomto dobíjení je využíváno současně 3 až 4 způsobů vyhodnocování ukončení nabíjení.

Trvalé dobíjení je časově neomezené nabíjení akumulátoru malým proudem, který negativně neovlivňuje vlastnosti akumulátoru. Trvalý dobíjecí proud bývá obvykle stanoven výrobcem pro konkrétní typ akumulátoru a je v rozsahu $0,05$ až $0,06 \cdot I_t$ a pro články určené k trvalému dobíjení je jeho hodnota $0,1 \cdot I_t$.

Konzervační proud je nabíjecí proud, kterým je dlouhodobě udržován plně nabitý akumulátor. Účelem je eliminovat ztrátu náboje způsobenou samovybíjením. Velikost konzervačního proudu je $0,025$ až $0,05 \cdot I_t$.

3.7 NAPĚŤOVÉ NABÍJENÍ

Využívá se u nabíjení lithiových akumulátorů. Jedná se o nabíjení konstantním proudem, dokud akumulátor nedosáhne předem stanoveného napětí a poté pokračuje nabíjení konstantním napětím, kdy začne nabíjecí proud klesat. Bývá označováno jako nabíjení „IU“, nebo „CCCV“ z anglického „Constant Current followed by Constant Voltage“. Nabíjení je ukončeno, jakmile nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu. Teplotní rozsahy tohoto nabíjení jsou od 0 do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Důležitým údajem pro toto nabíjení, je maximální povolený nabíjecí proud, udaný výrobcem.



3.8 KONEČNÝ NABÍJECÍ PROUD

S tímto termínem se pojí nabíjení lithiových akumulátorů. Jedná se o proud, při kterém je nabíjení článku, nebo baterie ukončeno za konstantního napětí, určeného výrobcem.

3.9 VYBÍJECÍ PROUD

Jedná se o stejnosměrný proud dodávaný akumulátorem do spotřebiče.

Maximální vybíjecí proud je konstantní vybíjecí proud stanovený výrobcem, který NESMÍ být překročen. V opačném případě může dojít ke zničení akumulátoru.

Špičkový vybíjecí proud je maximální vybíjecí proud povolený výrobcem po velmi krátkou dobu. Tato špičková zátěž je časově omezena, například 0,5 s do poklesu napětí 1.0 V

3.10 KONEČNÉ NAPĚTÍ

Je to předepsané napětí, kdy se při jeho dosažení považuje vybíjení za ukončené, také se označuje jako **konečné vybíjecí napětí**.

3.11 MAXIMÁLNÍ NABÍJECÍ NAPĚTÍ

Jeho hodnota je doporučena výrobcem a nesmí být během nabíjení překročena. Uvádí se pro lithiové akumulátory.

3.12 ZTRÁTA KAPACITY BĚHEM SKLADOVÁNÍ NABITÉHO AKUMULÁTORU

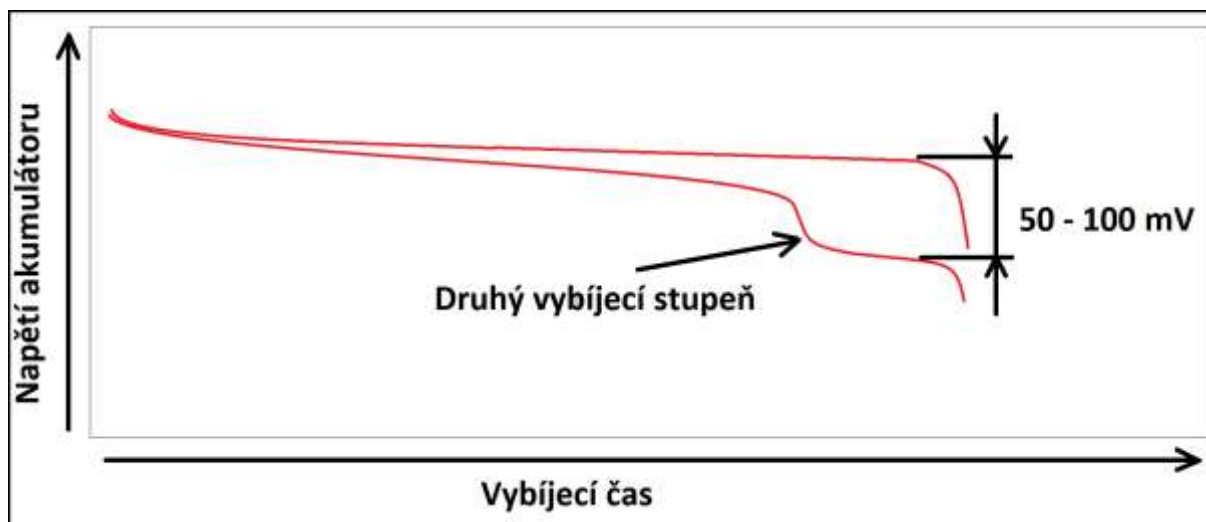
Tento jev je také znám jako **samovybíjení**. Jde o proces, při kterém akumulátor ztrácí svůj náboj, aniž by byl připojen ke spotřebiči. Velký vliv na ztrátu náboje má například teplota a typ akumulátoru. Obvykle s rostoucí teplotou, roste i proces samovybíjení. Nejmenší hodnoty samovybíjení dosahují akumulátory Li-ion, největších pak Ni-MH. Tyto charakteristiky jsou vyobrazeny například v grafech kapitoly **5.7 Skladování**.

3.13 PAMĚŤOVÝ EFEKT

Tento efekt byl poprvé pozorován a zkoumán v padesátých letech dvacátého století u NiCd akumulátorů používaných v kosmonautice. A jeho princip byl vysvětlen počátkem sedmdesátých let.



Tento jev vzniká při opakovaném vybíjení NiCd akumulátorů na malou a vždy stejnou hloubku vybití. Podstatou jsou změny krystalové struktury záporné elektrody. Lze jej odstranit plným vybitím akumulátoru. Projevem paměťového efektu je druhého vybíjecího stupně, kdy se náhle sníží napětí článku o 50 až 100 mV.



Obr. č. 12: Pokles napětí vlivem paměťového efektu u NiCd akumulátoru
(Převzato z: MAREK J. Hermetické akumulátory v praxi. 2004, s. 25.)

3.14 ČLÁNEK VS. BATERIE

Tyto pojmy bývají často zaměňovány. **Baterie** vznikne sériovým, paralelním, nebo kombinovaným zapojením jednotlivých akumulátorových článků. Za baterii lze považovat i samotný článek opatřený vývody, etiketou, nebo článek v komerčním provedení opatřený elektronickým obvodem (Li-ion, Li-pol atd.). Při paralelním zapojení článků je možné odebrat vyšší náboj, daný součtem kapacity článků a napětí zůstává jmenovité. Nesmí se kombinovat články o různých napětích. Sériově zapojené články dodávají vyšší napětí, které je dáno součtem napětí jednotlivých článků. Výsledná kapacita je pak dána nejmenší kapacitou jednoho z článků.

3.15 ŽIVOTNOST

Životnost hermetických akumulátorů je vyjadřována počtem normalizovaných nabíjecích a vybíjecích cyklů, které dokáže akumulátor absolvovat do poklesu kapacity na stanovenou mez. Tento parametr velmi závisí na podmínkách provozování akumulátoru. Proto se může hodnota deklarovaná výrobcem výrazně lišit od hodnot při praktickém užití. Největší vliv na životnost akumulátoru má jeho přebíjení a hluboké vybíjení. A to především za mezních teplot. Optimální teplota pro dobíjení většiny hermetických akumulátorů je 5 až 25°C. V normách pro NiCd akumulátory je předepsána životnost 400 cyklů do poklesu její



jmenovité kapacity na 60 %. U NiMH akumulátorů je to 500 cyklů. Přes přísnější podmínky předepsané pro NiMH akumulátory je z praxe životnost NiCd akumulátorů mnohem vyšší než NiMH. Pro lithiové akumulátory tyto předpisy platí také, ale zatím není předepsán počet cyklů, jelikož lithiové akumulátory jsou stále ještě ve fázi dalšího vývoje.¹⁴

¹⁴ Provozní životnost [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



4 AKUMULÁTORY OLOVĚNÉ



Obr. č. 13: Akumulátorová řada VARTA

(Dostupné z: <http://www.varta-automotive.cz/cs-cz/downloads/product-information-images/>)

4.1 HISTORIE A PŘÍTOMNOST

Olověnými články počala éra sekundárních zdrojů. Průmyslová výroba dobíjecích olověných akumulátorů začala kolem roku 1880, kdy Emile Alphonse Fauré vyvinul postup, při kterém se u olověného akumulátoru již po několika nabíjecích cyklech (formování) dosáhlo vysoké kapacity. Fauré pokryl obě strany olověného plechu pastou z olověného prášku a kyseliny sírové, a tím dosáhl vysoké kapacity již po prvním nabití. Vlivem industrializace se vývoj elektrochemických zásobníků energie velmi urychlil.¹⁵

Olověné akumulátory jsou nejpoužívanějším sekundárním zdrojem proudu. Jsou vyráběny v kapacitách od 1 do 10 000 Ah. Důvodem je dnes již velmi dobře zvládnutá technologie výroby a relativně nízká pořizovací cena, vysoká účinnost, provozní spolehlivost a dostatečný výkon. Roční spotřeba olova na výrobu akumulátorů se celosvětově pohybuje okolo 2,5 milionů tun.

4.2 KLADY A ZÁPORY

Klady olověných akumulátorů:

- Spolehlivost
- Účinnost
- Vybíjecí proudy až 10·C
- Velké rozpětí kapacit 1 až 120 Ah
- Nízká pořizovací cena

¹⁵ Historie akumulátorů [online]. Dostupné z: <http://www.fronius.cz>



Zápory olověných akumulátorů:

- Nízká měrná energie (15-40 Wh/kg)
- Nižší účinnost dobíjení vlivem teploty
- Menší počet dobíjecích cyklů (400-800)
- Omezená pracovní poloha vyjma článků s gelovým elektrolytem
- Vysoký vliv teploty na užité vlastnosti akumulátoru

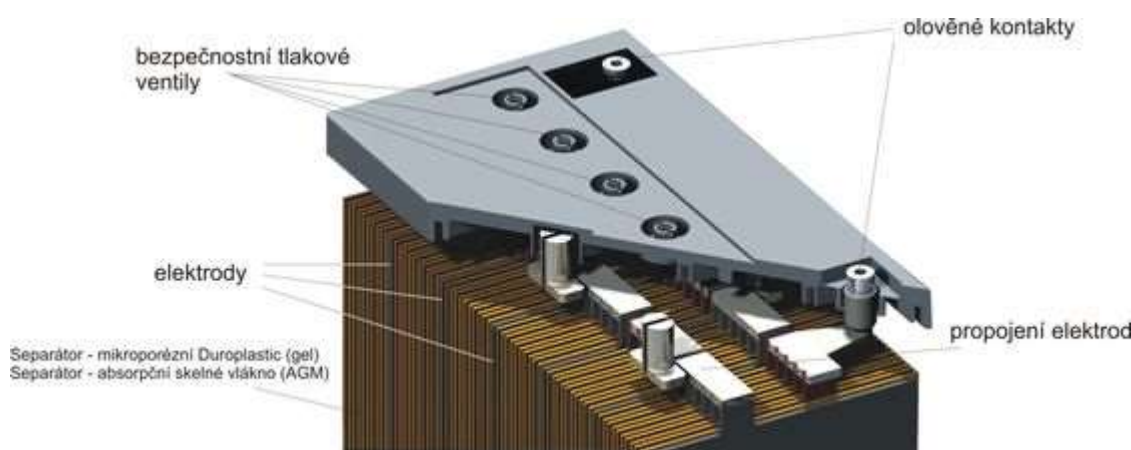
4.3 PRINCIP

V nabitém stavu tvoří aktivní hmotu záporné elektrody houbovitě olovo (Pb), u kladné elektrody je to oxid olovičitý (PbO₂). Elektrolytem v olověných akumulátorech je vodou zředěná kyselina sírová (H₂SO₄) o koncentraci přibližně 35% obj. u plně nabitého akumulátoru. Tento roztok může být z technických důvodů nasáknutý do **vaty** ze skelných vláken (AGM) nebo ztužený do formy **gelu**. Vybíjením se aktivní hmota záporné i kladné elektrody přeměňuje na síran olovnatý (PbSO₄) a elektrolyt je ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu. Při vybíjení tedy klesá koncentrace elektrolytu a naopak při nabíjení jeho koncentrace roste.¹⁶

Reakce na katodě: $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{e}^-$ s elektrickým potenciálem 1,685 V.

Reakce na anodě: $\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ s elektrickým potenciálem 0,356 V.

Celková reakce: $\text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Pb} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{PbSO}_4$ ¹⁷ s elektrickým potenciálem **2,041 V**.



Obr. č. 14: Skladba bezúdržbového gelového olověného akumulátoru

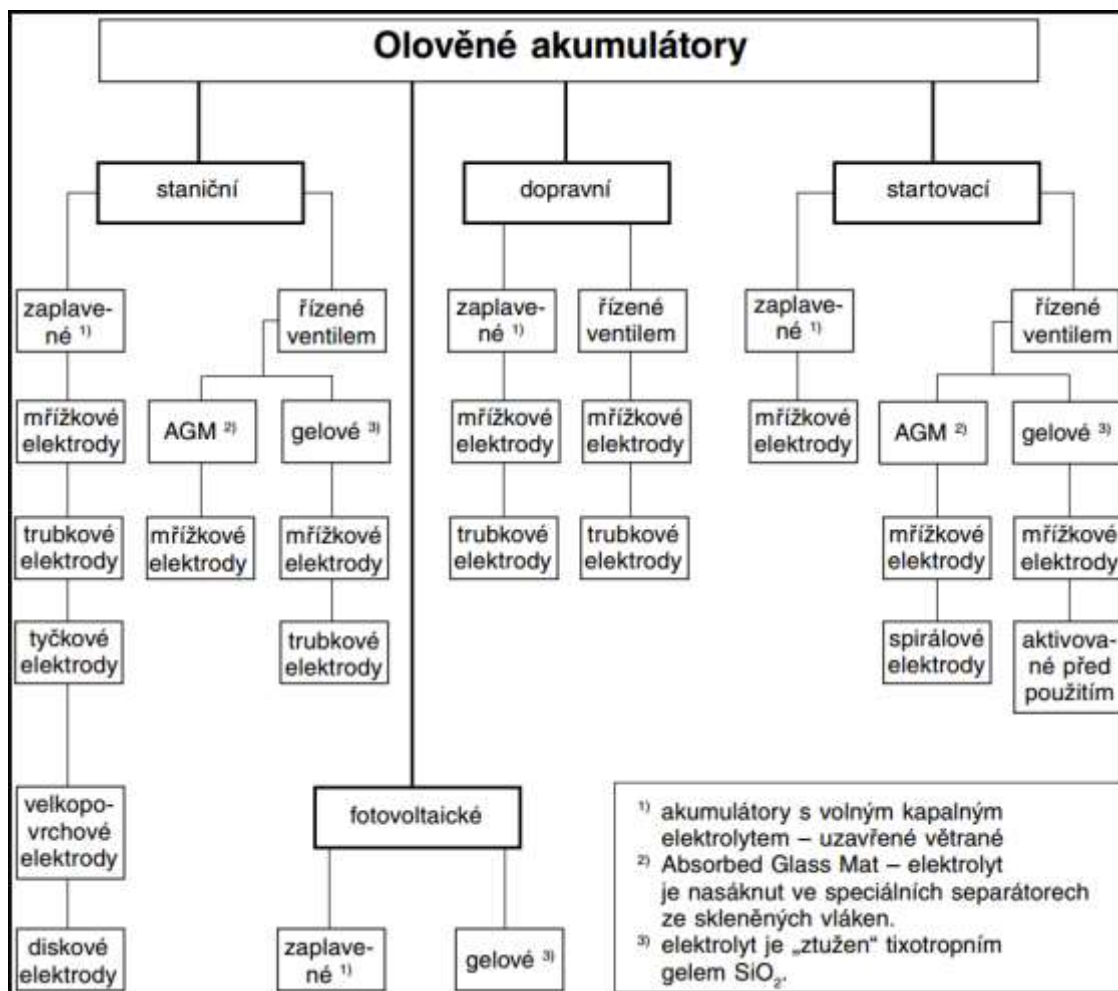
(Dostupné z: http://www.bateria.cz/editor/image/stranky3/Image/nicd_aku.jpg)

¹⁶ Olověný akumulátor [online]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz>

¹⁷ Secondary batteries [online]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com>



Několik typů rozměrových a kapacitních variací olověných akumulátorů jsou přiloženy v katalogových listech výrobce VARTA. Případně lze všechny nalézt na jejich internetových stránkách: <http://www.varta-automotive.cz>. Následující obrázek č. 15 prezentuje dostupné druhy a dělení olověných akumulátorů.



Obr. č. 15: Rozdělení různých konstrukcí akumulátorů dle účelu použití.

(Převzato z: ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 35.)

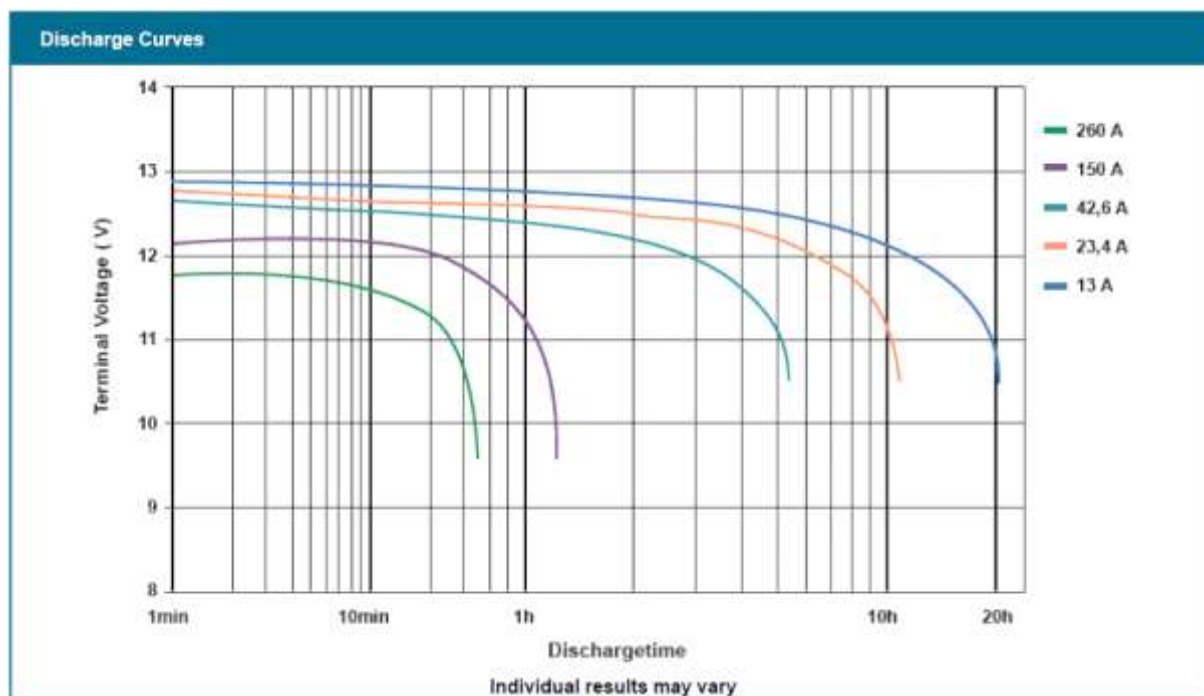
Tyto základní typy olověných akumulátorů se dále dělí na **údržbové** a **bezúdržbové**. Dalo by se říci, že u bezúdržbových sledujeme pouze jejich napětí a to nesmí klesnout pod 1,75 V na článek, jinak dochází ke snižování životnosti a kapacity akumulátoru. To samé platí u údržbových akumulátorů, kde jsou navíc servisní otvory pro zjišťování správné hustoty elektrolytu a případné doplnění vody v jednotlivých člancích.



4.4 VÝKON

Nejvyšší měrné energie dosahují trakční a startovací akumulátory a to 82 až 85 Wh/Kg. Nejnižšího výkonu a to okolo 13,5 Wh/Kg dosahují staniční akumulátory s velkopovrchovými elektrodami. U těchto akumulátorů není na škodu jejich větší hmotnost a objem, jelikož toto kompenzuje jejich vysoká spolehlivost a dlouhá životnost v provozu trvalého nabíjení.¹⁸

Jmenovité napětí článku je 2.0 V. Proudové zatížení toho typu akumulátorů roste s jeho kapacitou, uspořádáním a propojením jednotlivých článků, což bývá „know how“ jednotlivých výrobců. Maximální trvalý vybíjecí proud je 4·C a účinnost takového vybíjení je okolo 80 %. Špičkový vybíjecí proud dosahuje až 10·C při teplotě okolo 20°C. Na obrázku č. 16 je zobrazen průběh napětí akumulátoru při vybíjení v závislosti na různých velikostech vybíjecích proudů.



Obr. č. 16: Vybíjecí charakteristiky akumulátoru VARTA 260Ah
(Převzato z: katalogových listů výrobce VARTA)

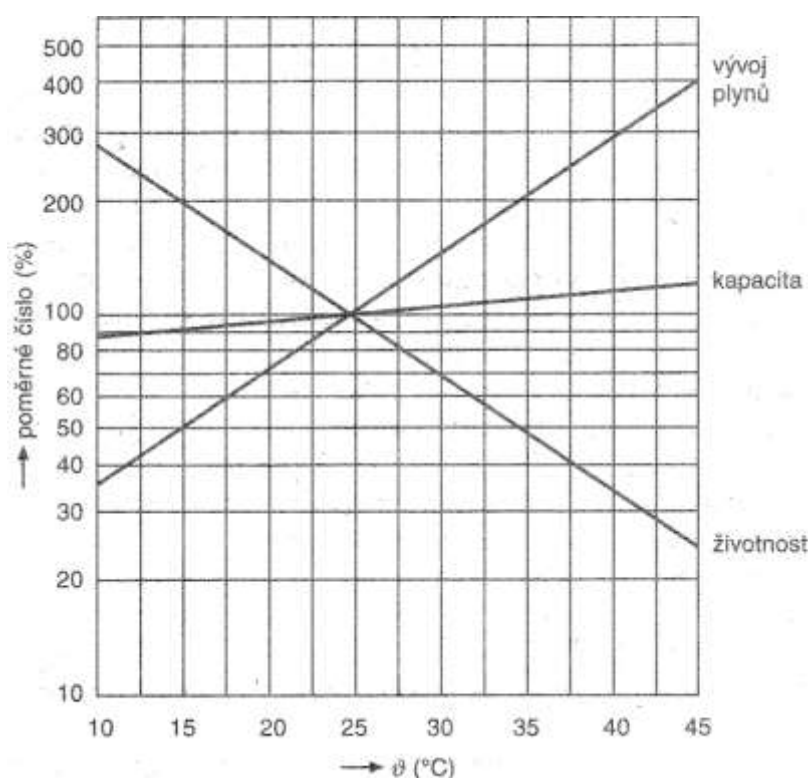
4.5 PROVOZ

V předchozí kapitole byla zmíněna teplota při vybíjení akumulátoru. Je to velmi důležitý parametr, který ovlivňuje jak životnost akumulátoru, tak i jeho aktuální kapacitu. Teplota má také vysoký vliv na účinnost nabíjení, zatížitelnost vybíjecími proudy, vývoj plynů elektrolýzou vody a velikost samovybíjení.

¹⁸ ČENĚK M. *Akumulátory od principu k praxi*. 2003, s. 34.



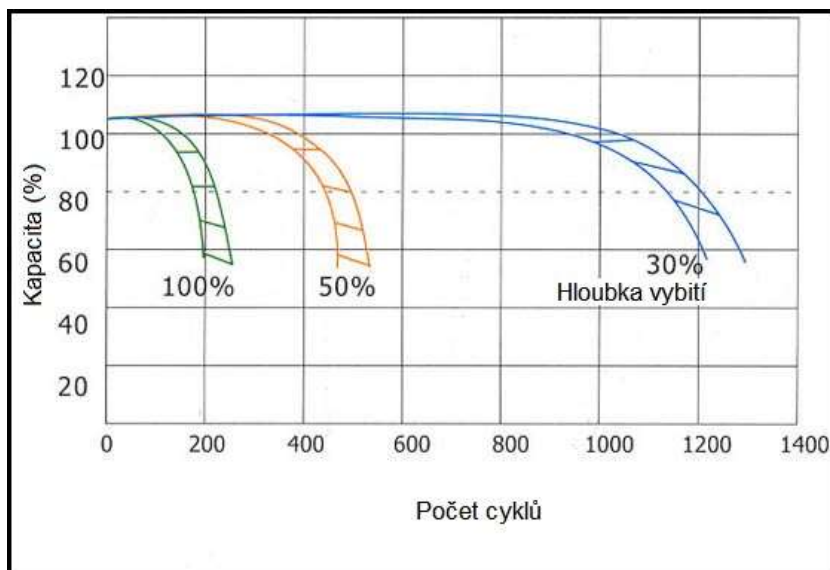
Při nízkých teplotách klesá rychlost chemických reakcí a tím se také zvyšuje vnitřní impedance akumulátoru. Většina olověných akumulátorů je stavěna na provoz při teplotách od 20 do 30°C v závislosti na jeho účelu užití. Je dokázáno, že každý 1 °C snížený o tuto ideální hodnotu provozní teploty, snižuje také o 1% kapacitu akumulátoru. Z toho plyne, že akumulátor o teplotě elektrolytu 0 °C může mít již o více jak 20% nižší hodnotu celkové kapacity. Do určité míry toto platí i obráceně a můžeme vlivem zvýšení teploty získat až o 25% kapacity více. Zároveň se velmi zvyšuje samovybíjení a současně je zkracována životnost. Například při trvalém zvýšení teploty o 10 °C nad jmenovitou hodnotu se může zkrátit životnost na 50% a při zvýšení teploty o 20 °C může poklesnout i na 25% udávané životnosti.¹⁹ Následující obrázek č. 17 velmi jasně popisuje vliv teploty na stav akumulátoru.



Obr. č. 17: Vliv teploty na stav a vlastnosti olověného akumulátoru

(Převzato z: ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 95.)

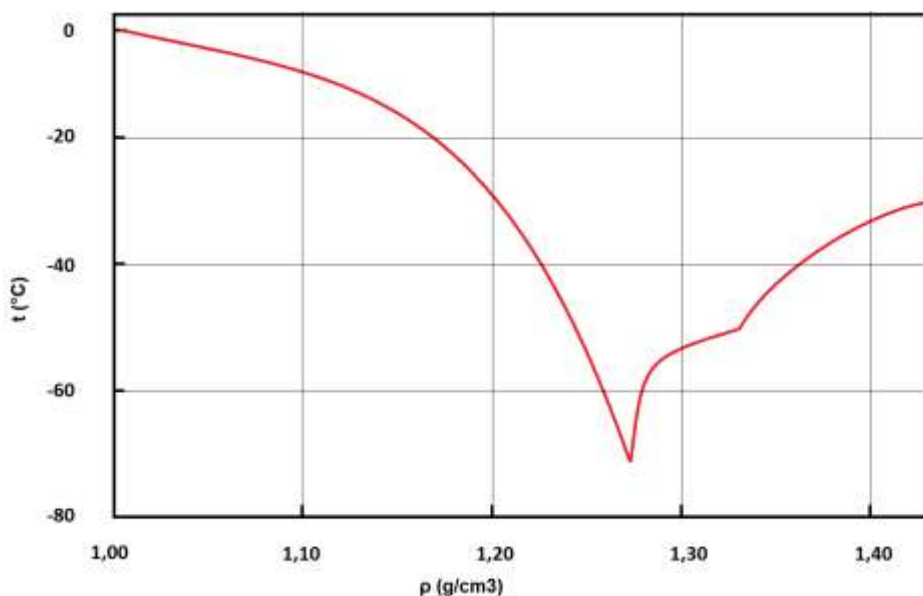
¹⁹ ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 95-98.



Obr. č.18 Kapacita v závislosti na počtu a hloubce vybíjecích cyklů

(Dostupné z: <http://www.elnika.cz/pict/baterie/figure08.jpg>)

Plně nabitý akumulátor nezamrzne při teplotě -50°C . Zatímco vybitý akumulátor může zamrznout již při -10°C . Nabití článku značí jeho hustota. Pohybuje se v rozmezí 1 až $1,28\text{ g/cm}^3$, tedy 0 až 100%.²⁰ Následující obrázek č. 19 prezentuje závislost bodu tuhnutí elektrolytu na jeho hustotě, tedy i stavu nabití.



Obr. č. 19: Bod tuhnutí elektrolytu v závislosti na jeho hustotě.

(Převzato z: ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 49.)

²⁰ ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 60.



4.6 NABÍJENÍ

Baterie je vhodné dobíjet okamžitě po jejím vybití. Doporučuje se nabíjení konstantním napětím 2,27 až 2,30 V na článek, při teplotě 25°C pro udržovací nabíjení a 2,40 až 2,45 V při stejné teplotě pro cyklické nabíjení. Maximální velikost proudu při začátku nabíjení by měla být 0,3 · C. Baterie se nesmí nabíjet v převrácené poloze a potřebuje asi 110% celkové vybíjecí energie pro její plné nabití.²¹ To se může měnit v závislosti na okolní teplotě měnit, jak plyne z následující tabulky č. 1.

Tab. č. 1: Účinnost nabíjení ovlivněná teplotou

Teplota (°C)	-7	-18	-29	-40
Účinnost nabíjení	90	80	60	20

(Zdroj: ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 95-98.)

Nedoporučuje se nechat baterii vybit na nulové napětí. Vyvarovat se hlubokého vybití baterie. Při skladování by se měla baterie v pravidelných intervalech dobíjet. V opačném případě hrozí **sulfatace**.

Podstatou sulfatace je postupný vznik krystalů síranu olovnatého (PbSO₄) na elektrodách. Na rozdíl od původního síranu, se vzniklé krystaly zúčastňují přeměn aktivní hmoty elektrod jen ve velmi omezené míře. Následkem toho dojde ke snížení kapacity akumulátoru.²²

Dalším negativním důsledkem sulfatace je nárůst vnitřního odporu (a snížení vodivosti), který má za následek snížení napětí a proudu dodávaného akumulátorem, zvláště při velkých proudových odběrech.²³

V případě, že se lze podívat dovnitř akumulátoru, je možné přítomnou sulfataci poznat. Projevuje se přítomností bílých lesklých skvrn na elektrodách. Rychlost vzniku krystalů síranu olovnatého závisí na teplotě a míře vybití akumulátoru – s rostoucí teplotou a vybitím rychlost narůstá. Plně vybitý akumulátor při vyšší teplotě (více než 25 °C) výrazně sulfatuje již během jednoho dne. Při nižších teplotách, až po více dnech. U akumulátoru, který je vybit jen trochu, výraznější sulfatace nastává asi po třech dnech. V chladu po týdnu a více.²⁴

²¹ Akumulátory specifikace. [online]. Dostupné z: <http://www.elnika.cz/>

²² Sulfatace. [online]. Dostupné z: <http://www.tutr.cz/>

²³ Tamtéž

²⁴ Tamtéž



4.7 SKLADOVÁNÍ

Při skladování je nutné odpojit baterii od zátěže. Nedoporučuje se, aby napětí baterie při skladování kleslo pod 2 V/čl. Nebude možné dosáhnout okamžitě plné kapacity akumulátoru. Skladování musí být na suchém a dobře větraném místě při nižších teplotách. Je nutné si uvědomit, že provozní parametry baterií se s dobou skladování zhoršují.²⁵

Skladovací teplota a interval nabíjení:

- 20 °C nebo nižší je nutno dobít každých 9 měsíců.
- 20 až 30 °C je nutno dobít každých 6 měsíců
- 30 až 40 °C je nutno dobít každé 3 měsíce.



Obr. č. 20: Vliv teploty na samovybíjení olověných akumulátorů
(Převzato z: ČENĚK M. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s. 78.)

Pravidla vhodná pro skladování a užívání olověných akumulátorů:

- Baterii je nutno čistit vlhkým měkkým hadříkem. Nesmí se používat olej, polyvinylchlorid, organická rozpouštědla (benzín, ředidla).
- V některých případech se z baterie může uvolňovat hořlavý plyn. Baterie se nesmí vystavovat vlivu plamene nebo jiných tepelných zdrojů.
- Baterie exploduje, pokud je vhozena do ohně.
- Když se baterie blíží ke konci své životnosti, zkracuje se její vybíjecí cyklus. Nakonec baterie ztratí svoji průměrnou kapacitu, dojde k vnitřním zkratům a/nebo k vyschnutí

²⁵ Akumulátory specifikace. [online]. Dostupné z: <http://www.elnika.cz/>



elektrolytu. Tento stav je nutné brát na vědomí vzhledem ke konstrukci nabíječe, protože na konci životnosti může baterie vykazovat zkrat na výstupních svorkách.

4.8 VÝROBCI

Akuma, Banner, Bosch, Deca, Exide, Fiamm, Moll, Rocket, TecMate, VARTA, Yausa

Ceny v ČR i zahraničí se pohybují v rozpětí 2,50 až 8 Kč/Wh. Uvedené ceny jsou převzaty z internetových obchodů <http://www.varta-automotive.cz>, <http://www.autobaterievarta.cz/>, <http://www.gme.cz/>, <http://shop.battex.cz/>, <http://battery.nabizi.cz>, <http://www.varta-automotive.cz>, www.ebay.com



5 AKUMULÁTORY NI-Cd



Obr. č. 21: Různé typy Ni-Cd akumulátorů

(Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:NiCd_various.jpg)

5.1 HISTORIE

Prvním použitelným alkalickým akumulátorem byl na počátku 20. Století Edisonův železoniklový akumulátor, který jako elektrolyt využíval roztoku hydroxidu sodného (NaOH). Náhradu kadmíem za sloučeniny železa, jako aktivní složky na záporné elektrodě dal W. Jungner vzniku dokonalejšímu niklkadmiovému akumulátoru. Průmyslová výroba hermetických akumulátorů byla rozvinuta po 2. světové válce především v Německu a Francii.²⁶

V bývalém Československu byly tyto akumulátory vyráběny podnikem Bateria Slaný počátkem šedesátých let. Prvním takovým akumulátorem byl knoflíkový článek o jmenovité kapacitě 225 mAh. Později byly vyráběny akumulátory válcové o kapacitách 400, 900 a 2000 mAh. V 70. letech byla tato výroba nahrazena produkcí akumulátorů se sintrovanými (spékaný kovový prášek) elektrodami. Prvním takovým výrobkem, byl článek o kapacitě 4000 mAh a velikosti D, určený pro vojenské účely. Po technické stránce bylo možné tyto akumulátory řadit mezi světovou špičku, avšak kvůli nedostatku prostředků pro modernizaci výroby s ohledem na ekologii a zamezení úniku škodlivin při výrobě, byla produkce ukončena. Výroba převládala především v zemích východní Asie a v Evropě u společnosti SAFT ve Francii²⁷ Avšak dnes je užití těchto akumulátorů velmi omezeno s ohledem na novelu zákona o odpadech, platící od 26. září 2009, kde je obchodování s bateriemi o obsahu kadmia vyšším než 0,002 % zakázáno.

²⁶ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 33.

²⁷ Tamtéž, s. 33.



5.2 KLADY A ZÁPORY

„Mezi přednosti hermetických Ni-Cd akumulátorů patří:

- vysoká spolehlivost a životnost – vhodné i pro kosmickou, leteckou, vojenskou a zdravotnickou techniku,
- možnost odběru velmi vysokých proudů – nejlepší zdroje pro napájení profesionálního akumulátorového nářadí, mobilní robotiku a obdobné aplikace,
- schopnost rychlého a velmi rychlého nabíjení,
- výborné mechanické vlastnosti a odolnost,
- univerzálnost,
- relativně malá změna napětí v průběhu vybíjení, čímž je dán prakticky konstantní výkon spotřebičů napájených NiCd akumulátory. Je zřejmé, že po mírném poklesu napětí na počátku vybíjení (zejména malými proudy) zůstává napětí téměř konstantní až do plného vyčerpání kapacity, poté strmě klesá.
- neomezená pracovní poloha

Nevýhody hermetických Ni-Cd akumulátorů:

- menší měrná energie vztahovaná na hmotnost nebo objem,
- náhlý pokles napětí na konci vybíjecího cyklu – podle napětí nelze určit zbývající kapacitu,
- obsah kadmia, které je klasifikováno jako škodlivá látka pro životní prostředí²⁸
- Kapacita článku typu AA 1200 mAh

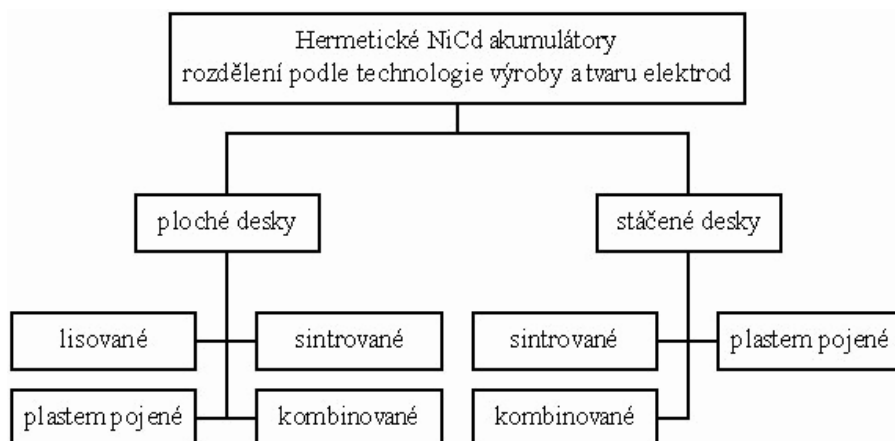
5.3 PRINCIP

Elektrochemicky aktivní složkou ve vybitém stavu je **hydroxid nikelnatý** na kladné elektrodě a **hydroxid kademnatý** na záporné elektrodě.

„Elektrolytem hermetických akumulátorů je ve většině případů hydroxid draselný (KOH), rozpuštěný ve vodě. Mezi elektrody jsou vloženy separátory, které oddělují kladný a záporný elektrodový systém a současně slouží jako nosič elektrolytu. Při nabíjení se aktivní složka kladné elektrody, hydroxid nikelnatý, mění na nikloxyhydroxid (dvojmocný nikl přechází na trojmocný) a hydroxid kademnatý na kovové kadmium.“²⁹

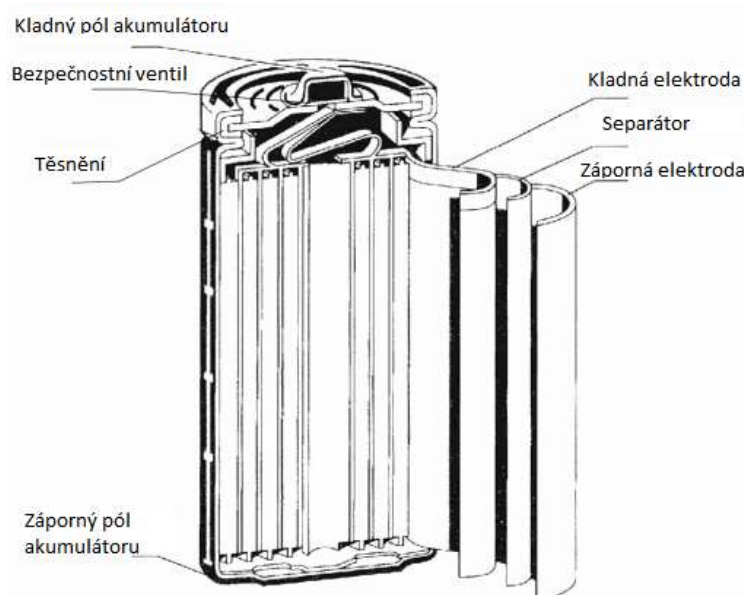
²⁸ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 35.

²⁹ Princip [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



Obr. č. 22: Rozdělení hermetických NiCd akumulátorů podle výroby a typu elektrod
(Zdroj:www.battex.cz)

Pokud je pokračováno v nabíjení i po nabití elektrod, dojde k přebíjení, kdy je elektrolyt rozkládán (elektrolýza vody) a důsledkem je vývoj vodíku na záporné a kyslíku na kladné elektrodě. V otevřených soustavách jsou tyto plyny odváděny do ovzduší, avšak u hermeticky uzavřených je využíváno schopnosti záporné elektrody vázat kyslík uvolněný z kladné elektrody. Jedná o tzv. rekombinaci. Kapacita elektrod, proto musí být nastavena tak, aby při plném dobití kladné elektrody byla přítomna v záporné elektrodě část aktivní hmoty v nenabitěm stavu. Výsledkem je, že záporná elektroda musí mít proti kladné větší kapacitu. Z vnějšího pohledu vypadá proces přebíjení tak, že článku je dodávána elektrická energie, která se mění v teplo a článek se zahřívá.³⁰



Obr. č. 23: Konstrukce hermetického NiCd akumulátoru válcového tvaru
(Převzato z: MAREK J. Hermetické akumulátory v praxi. 2004, s. 34.)

³⁰ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s.34.



Jmenovité napětí článku je 1,2 V a naprázdno 1,35 V.

Reakce na (Cd) anodě: $\text{Cd} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^-$ s potenciálem 0,81 V.

Reakce na $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$ katodě: $\text{NiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$ s potenciálem 0,49 V.

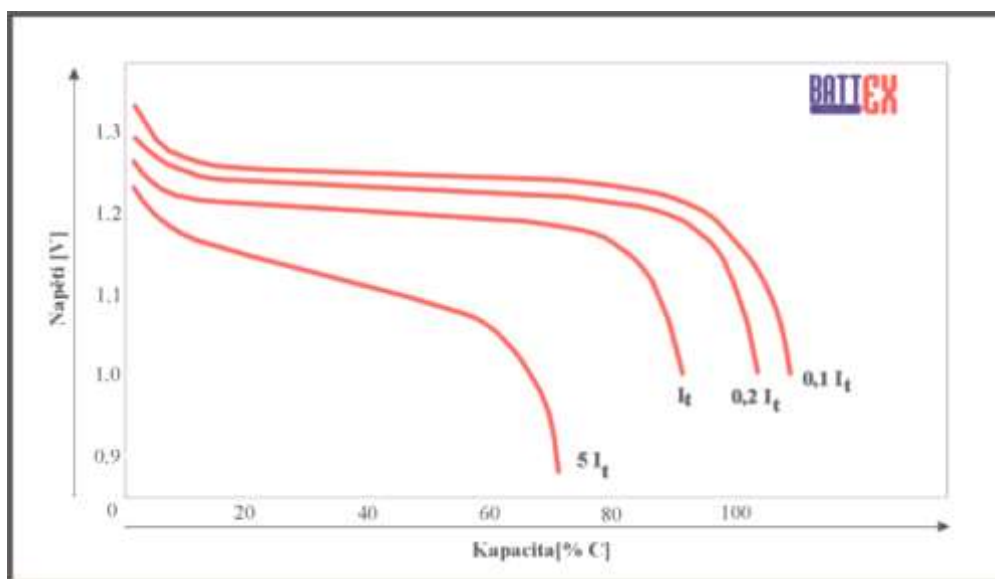
Celková reakce: $\text{Cd} + \text{NiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 + \text{Ni}(\text{OH})_2$ s potenciálem **1,30 V**.³¹

5.4 VÝKON

Kapacita těchto hermetických akumulátorů pro komerční a všeobecné užití dosahuje obvykle 950 až 4000 mAh v závislosti na velikosti.

Avšak disponují vyšším vybíjecím proudem než Ni-MH. Obvyklá hodnota trvalého vybíjecího proudu je 5 až 10násobek jmenovité kapacity. Zajímavostí jsou špičkové vybíjecí proudy (povolený proud po dobu 0,3 sekund do poklesu napětí na 0,65 V na článek), které dosahují hodnot v rozpětí od 20 do 130násobku jmenovité kapacity. Články se vyznačují velkou mechanickou odolností, spolehlivostí, životností a klimatickou odolností.

Výkonnost těchto článků je s ohledem na jejich kapacitu a velikost nižší než u Ni-MH, hodnota se pohybuje okolo 45 Wh/kg.³² Nevýhodou bývá snižování velikosti odebraného náboje se zvyšujícím se vybíjecím proudem, jak je patrné z následujícího grafu.



Obr. č. 24: Vybíjecí křivky různými proudy u akumulátorů pro všeobecné použití při 20°C

(Zdroj:www.battex.cz)

³¹ Battery chemistry FAQ [online]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com/>

³² ČENĚK M. *Akumulátory od principu k praxi*. 2003, s. 147.



5.5 PROVOZ

Vzhledem k teplotním provozním rozmezím pro tento typ akumulátorů, který se pohybuje od -40°C do $+60^{\circ}\text{C}$ ³³ se není nutné obávat jeho poškození při použití za nevhodných podmínek prostředí, jak je tomu právě u dalších typů akumulátorů. S ohledem na to, že tyto články trpí přítomností paměťového efektu, je nutné je před dobíjením vybit až na hodnotu napětí 1.0 V. Tímto se zároveň snižuje životnost článku na přibližně 300 cyklů oproti přerušovanému vybíjení a nabíjení za přítomnosti paměťového efektu. Většina výrobců uvádí životnost 2000 cyklů, což je v praxi, kdy obvykle není dodrženo laboratorních podmínek provozu, nemožné dosáhnout a hodnota se pohybuje okolo tisíce cyklů.

5.6 NABÍJENÍ

*„Všechny typy hermetických NiCd akumulátorů se mohou nabíjet normálním proudem, konzervačním proudem a proudem pro trvalé dobíjení. Zrychlené, rychlé a velmi rychlé nabíjení se může použít pouze u typů a za podmínek stanovených výrobcem. Pro indikaci ukončení nabíjení (dosažení plného nabití) při rychlém a velmi rychlém nabíjení je možno použít všechny metody popsané v kapitole Nabíjení hermetických akumulátorů, respektive podrobnosti o nabíjení jsou uvedeny v kapitole Nabíjení hermetických NiCd akumulátorů.“*³⁴

5.7 SKLADOVÁNÍ

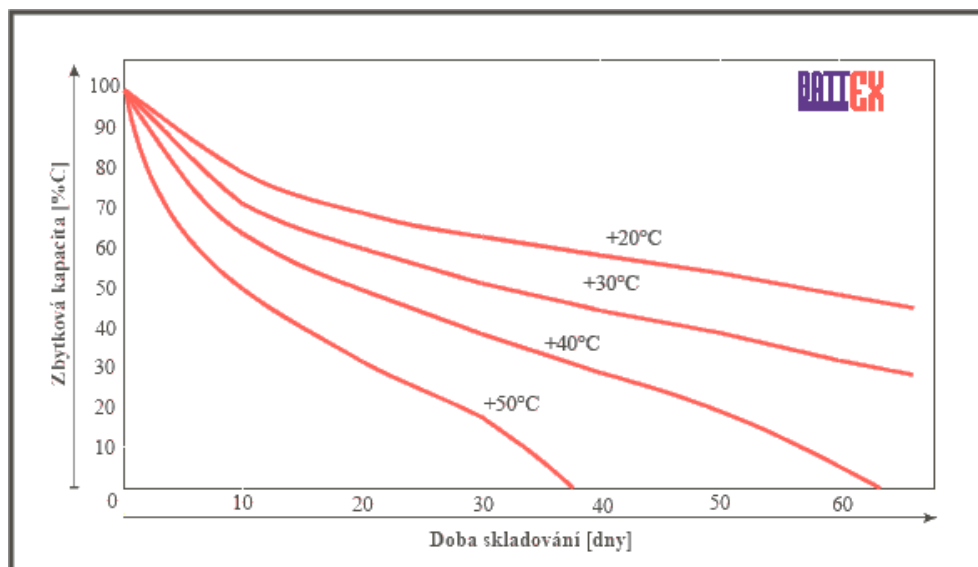
*„Hermetické NiCd akumulátory se doporučuje skladovat ve vybitém stavu v prostorách bez chemických vlivů a prudkých změn teploty a při relativní vzdušné vlhkosti $65 \pm 20 \%$. Optimální teplota pro skladování je 5° až 25°C , povolené teploty pro skladování jsou -40° až $+60^{\circ}\text{C}$ (pokud výrobce nestanoví jinak). Na obrázcích č. 25 a 26 je zobrazena ztráta kapacity nabitých akumulátorů při skladování za různých teplot a pro různé typy akumulátorů.“*³⁵

Pro přehlednost jsou tyto jevy zobrazeny v následujících obrázcích č. 25 a 26.

³³ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 42.

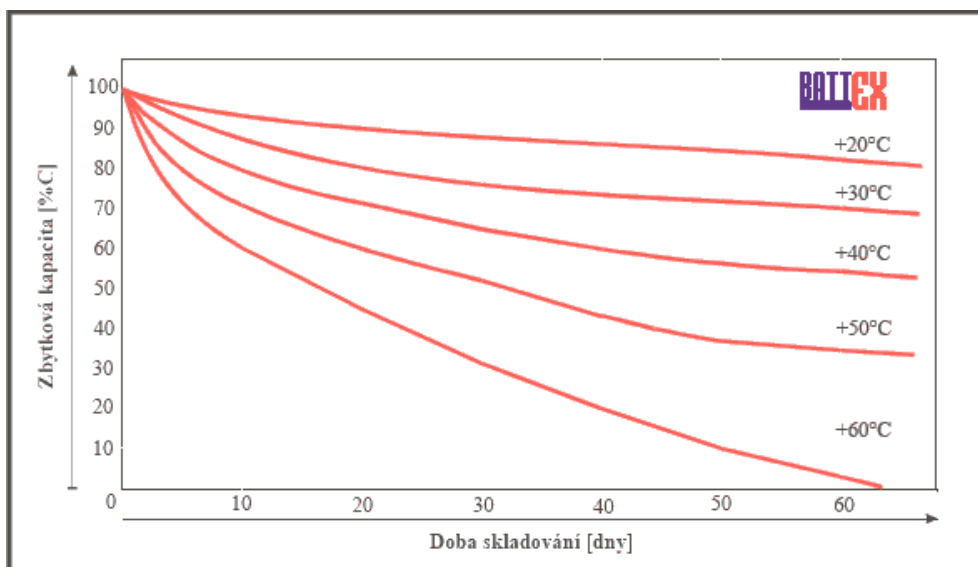
³⁴ Metody vhodné pro nabíjení hermetických NiCd akumulátorů [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>

³⁵ Skladování hermetických NiCd akumulátorů [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



Obr. č. 25: Samovybíjení u NiCd akumulátorů pro všeobecné použití

(Zdroj: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/skladovani-hermetickych-nicd-akumulatoru>)



Obr. č. 26: Samovybíjení u NiCd akumulátorů pro trvalé dobíjení a do zvýšených teplot

(Zdroj: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/skladovani-hermetickych-nicd-akumulatoru>)



5.8 VÝROBCI

Mezi výrobce Ni-Cd akumulátorů patří například SAFT, BATTEX, Bech-Akku-Power, Energizer Power Systems, BYD, ABSL, Harding a další.

Cena v ČR se pohybuje od 20 do 50 Kč/Wh, zahraniční ceny jsou od 15 do 30 Kč/Wh za běžné články typu A, AA, AAA, C, D. Uvedené ceny jsou převzaty z internetových obchodů <http://www.gme.cz/>, <http://shop.battex.cz/>, <http://battery.nabizi.cz>, www.ebay.com, www.hobbyking.com.



6 AKUMULÁTORY NI-MH



Obr. č. 27: Různé typy Ni-MH akumulátorů

(Dostupné z: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/ni-mh-battery-19906-2739355.jpg)

6.1 HISTORIE

Nikl-metalhydridové akumulátory byly vyvíjeny v osmdesátých letech dvacátého století. A to především z důvodů ekologických s požadavkem na náhradu škodlivého kadmia jiným materiálem. První kusy trpěly mnoha vadami, jako například velké samovybitení, zhoršení vlastností během skladování a vysokou cenou. Velmi rychle se však užité vlastnosti podařilo vylepšit a našly tak široké uplatnění v mobilní robotice.³⁶ Nejznámějším výrobcem těchto akumulátorů je firma GP s primárním sídlem v Singapuru.

6.2 KLADY A ZÁPORY

Mezi přednosti těchto akumulátorů patří:

- Nepřítomnost paměťového efektu
- Větší kapacita oproti NiCd
- Menší hmotnost oproti NiCd
- Menší zátěž pro životní prostředí
- Nahradily NiCd v aplikacích s velkou měrnou energií.
- Kapacita článku typu AA 3000 mAh
- Neomezená pracovní poloha

³⁶ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 49.



Mezi nevýhody NiMh patří:

- Menší rozsah klimatických a mechanických odolností
- Větší samovybíjení
- Větší vnitřní impedance
- Nevhodné pro velmi rychlé nabíjení a extrémní vybíjecí proudy
- Vyšší cena oproti NiCd
- Nižší životnost

Užitné vlastnosti těchto článků jsou neustále zlepšovány. Některé negativní vlastnosti byly zlepšeny, nebo odstraněny. Samovybíjení též dosahuje hodnot blízkým NiCd akumulátorů a také vybíjecí proudy již dosahují několikanásobků jmenovité kapacity článku. Dochází k neustálému zvyšování jejich kapacity.

6.3 PRINCIP

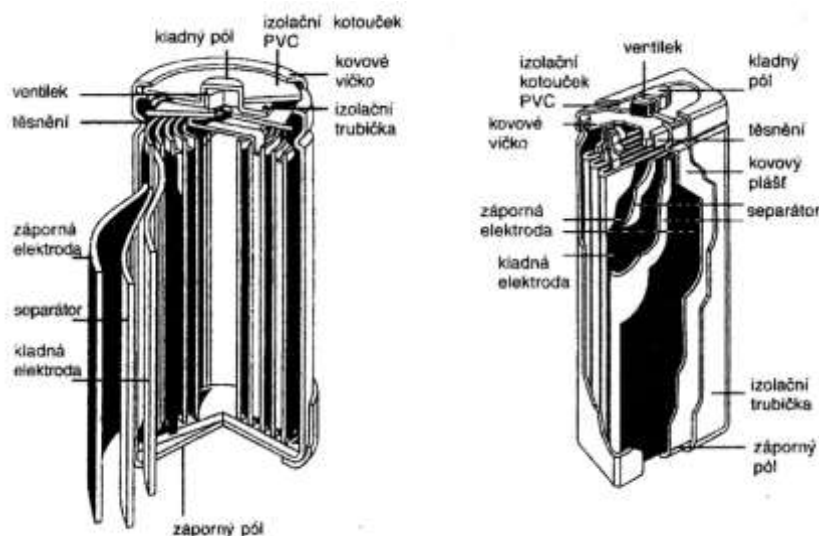
Hlavními složkami Ni-MH článků je kladná elektroda na bázi sloučenin niklu, záporná elektroda ze slitiny pohlcující vodík, elektrolyt, jímž je zředěný roztok hydroxidu a také potřebná separace. Jmenovité napětí je 1,2 V na článek a napětí naprázdno se udává 1,35 V.

Reakce na (Mh) anodě: $\text{MH} + \text{OH}^- \longrightarrow \text{M} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^-$ s potenciálem 0,83 V

Reakce na (NiO(OH)) katodě: $\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$ s potenciálem 0,52 V

Elektrolyt: KOH (vodný roztok hydroxidu draselného)

Celková reakce: $\text{NiOOH} + \text{MH} \longrightarrow \text{Ni(OH)}_2 + \text{M}$ s potenciálem **1,35V**³⁷



Obr. č. 28: Složení Ni-MH akumulátoru

(Zdroj: MAREK J., STEHLÍK L. Akumulátory od principu k praxi. 2003, s 158)

³⁷ Battery chemistry FAQ [online]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com>



Tyto články se vyrábí v mnoha typizovaných rozměrech, ať už hranolových, knoflíkových, nebo válcových. Nejužívanější válcové typy jsou vypsány v následující tabulce, ostatní jsou k nalezení v příloze, a to v katalogových listech firmy GP.

Tab. 2: Základní rozměrové typy válcových NiMH i NiCd akumulátorů

Označení	Průměr (mm)	Výška (mm)	Odpovídající primární baterie	Označení ANSI
HR 11/45	10,5	44,5	R03	AAA
HR 15/43	14,5	43		4/5 AA
HR 15/49	14,5	49		
HR 15/51	14,5	50,5	R6	AA
HR 17/29	17,0	28,5		2/3A
HR 17/43	17,0	43,0		4/5A
HR 17/50	17,0	50,0		A
HR 17/67	17,0	67,0		4/3A
HR 23/43	23,0	43,0		Cs
HR 26/47	25,8	47,0		
HR 26/50	25,8	50,0	R14	C

(Zdroj: MAREK J. Hermetické akumulátory v praxi. 2004, s. 51.)

6.4 VÝKON

Použití těchto článků je vhodné v aplikacích s velmi častým dobíjením, jelikož jejich samovybíjení dosahuje až 30% za měsíc.

Hodnota konstantního vybíjecího proudu je doporučena maximálně na $3 \cdot I_t$, jak pro prismatické, tak pro komerční články. Kapacita dosahuje hodnoty až 14Ah pro články velikosti F a měrná energie se dnes pohybuje od 60 do 120 Wh/Kg.³⁸

Některé články typu LSD (low self discharge) s nízkým samovybíjením, které se dají zakoupit již přednabitě, dosahují výborných výsledků v této oblasti. Ve většině případů však mají LSD články nižší kapacitu, než články výkonové s vyšším samovybíjením. Jak prezentují články společnosti ENELOOP v následující porovnávací tabulce.

³⁸ Product catalogues [online]. Dostupné z: <http://www.gpbatteries.com>



Tab. 3: Samovybíjení v závislosti na kapacitě a druhu článku

Označení	Kapacita (mAh)	Kapacita po 1 roce skladování (%)	Počet cyklů	Cena za 4ks (Kč)
Normal NiMH	2700	0	300-800	240
Eneloop XX	2500	75	500	350
Eneloop	2000	85	1500	160

(Zdroj: <http://michaelbluejay.com>)

6.5 PROVOZ

Výrobci udávaná životnost těchto článků je až 1000 cyklů. Což plyne z laboratorních zkoušek, kdy je článek vybitý na 80% své kapacity a poté znovu nabit. Z praxe víme, že skutečná životnost tohoto článku při běžném užití je okolo 400 cyklů.

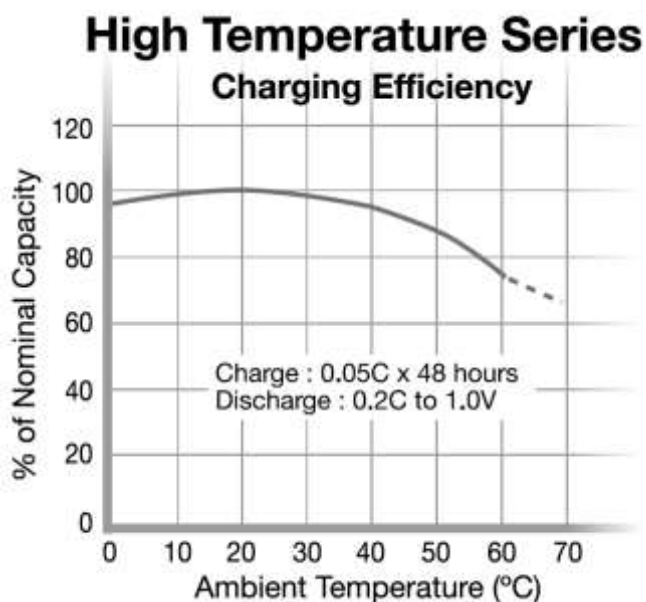
Doporučená provozní teplota pro vybíjení je v rozmezí od -20 °C do 60 °C. Maximální velikost vybitého náboje se získá při teplotě okolí asi 20 °C.

Účinnost nabíjení je silně závislá na pracovní teplotě. Vlivem rostoucího uvolňování kyslíku na kladné elektrodě se účinnost nabíjení s rostoucí teplotou snižuje. Přesně opačně tomu je při nízkých teplotách a účinnost dobíjení se tak zvyšuje.³⁹

6.6 NABÍJENÍ

Doporučené teploty pro standardní dobíjení jsou 0 až 45 °C a pro rychlé nabíjení 10 až 45 °C. Vliv teploty na kvalitu nabití akumulátoru vystihuje následující graf. Svislá osa označuje kapacitu akumulátoru (%), vodorovná osa teplotu prostředí (°C)

³⁹ ČENĚK M. *Akumulátory od principu k praxi*. 2003, s. 158.



Obr. č. 29: Vliv teploty na nabíjení NiMh článků

(Zdroj: katalogový list firmy GP)

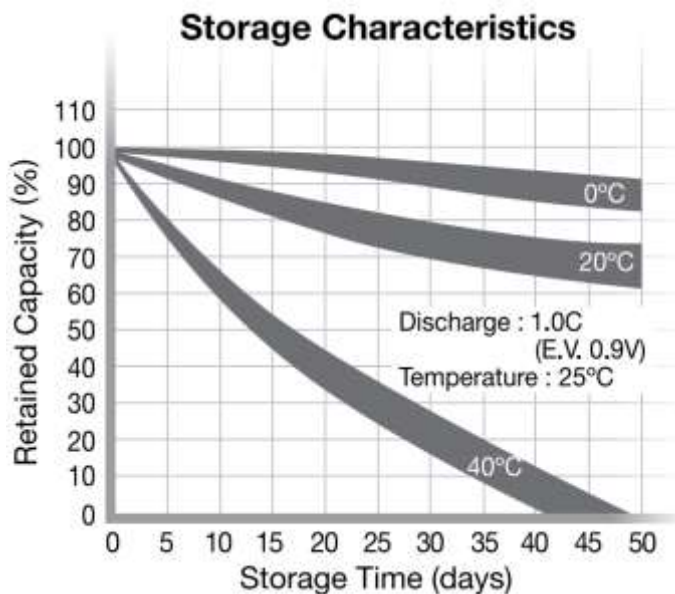
Jak již bylo zmíněno, není nutné tyto akumulátory vybijet z celého náboje před započítím dobíjecího cyklu, jelikož netrpí paměťovým efektem. Obvyklá hodnota nabíjecího proudu se udává od $0,1 \cdot C$ do $0,5 \cdot C$, ve výjimečných případech u článků označených výrobcem, jako rychlonabíjecí, dosahuje $1 \cdot C$.

6.7 SKLADOVÁNÍ

„Optimální podmínky pro skladování hermetických NiMh akumulátorů jsou teplota $+5$ až 25°C a relativní vlhkost $65 \pm 20 \%$. NiMh akumulátory a baterie se skladují v nabitěm stavu, každých 6 měsíců je třeba dobití na 50 % jmenovité kapacity.“⁴⁰

Samovybíjení v závislosti na okolní teplotě prezentuje následující graf. Svislá osa znázorňuje kapacitu článku (%) a vodorovná osa časový úsek (dny).

⁴⁰ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 54.



Obr. č. 30: Vliv teploty na skladování NiMh článků

(Zdroj: katalogový list firmy GP)

6.8 VÝROBCI

Kromě společnosti GP jsou Ni-MH články vyráběny společnostmi Sanyo, Firefox, Turnigy, SAFT, Panasonic, Varta, Emmerich a Friwo. Objevuje však celá řada jiných výrobců, především v oblasti komerčních akumulátorů NiMh, pro které tyto výrobci akumulátory dodávají pod jinou značkou.⁴¹

Cena je v ČR se pohybuje od 30 do 60 Kč/Wh, zahraniční ceny jsou od 8 do 15 Kč/Wh za běžné články typu A, AA, AAA, C, D. Uvedené ceny jsou převzaty z internetových obchodů <http://www.gme.cz/>, <http://shop.battex.cz/>, <http://battery.nabizi.cz>, www.ebay.com, www.hobbyking.com.

⁴¹ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 54.



7 AKUMULÁTOR NI-ZN



Obr. č. 31: Různé typy Ni-Zn výrobce Powergenix

(Dostupné z: <http://venturebeat.files.wordpress.com/2008/05/aa-batteries.jpg>)

7.1 HISTORIE

Ni-Zn akumulátor není žádnou novinkou mezi akumulátory, jelikož jeho princip představil již Thomas Alva Edison. V tomto případě se jednalo o otevřené akumulátory, dnes se jedná o akumulátory hermeticky uzavřené, ovšem prozatím ne příliš rozšířené, tedy určitou novinkou vlastně jsou.⁴² Poprvé byly uvedeny na trh firmou PowerGenix v roce 2009 jako alternativa ke stávajícím Ni-Mh a Ni-Cd článkům.⁴³ Pozitiva, která plynula z vyššího napětí, byla patrná zejména ve spotřební elektronice. Ovšem spousta elektroniky bez ochrany vstupu toto napětí nevydržela a na základě toho přestal PowerGenix články nadále vyrábět. Stále se však dají zakoupit na www.ebay.com.⁴⁴ Popřípadě od čínských výrobců, jako je například distribuce firmy Turnigy.

⁴² Ni-Zn akumulátory [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>

⁴³ PowerGenix [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>

⁴⁴ NiZn (Nickel-Zinc) [online]. Dostupné z: <http://michaelbluejay.com>



7.2 KLADY A ZÁPORY

Výhody Ni-Zn článků:

- Nepřítomnost paměťového efektu
- Nízký vnitřní odpor
- Vyšší jmenovité napětí 1,65 V
- Nižší hmotnost sestaveného akumulátoru
- Vysoké vybíjecí proudy
- Ceny jako u NiCd
- Neomezená pracovní poloha

Nevýhody Ni-Zn článků:

- Životnost 200 cyklů
- Nelze užít standardní nabíječ
- Provozní teplota 0 až 50 °C
- Kapacita článku typu AA 1500 mAh

7.3 PRINCIP

Probíhající reakce:

Reakce na (Zn) anodě $\text{Zn} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn(OH)}_2 + 2\text{e}^-$ s potenciálem 1,24V

Reakce na (Ni) katodě $2\text{NiOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Ni(OH)}_2 + 2\text{OH}^-$ s potenciálem 0,49V

Celková reakce $2\text{NiOOH} + \text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Ni(OH)}_2 + \text{Zn(OH)}_2$ s potenciálem **1,73V**⁴⁵

Jmenovité napětí 1,65 V skýtá velkou výhodu oproti Ni-Mh článkům, které mají jmenovité napětí pouze 1,2 V, tedy na sestavu akumulátoru o jmenovitém napětí 9,6V je třeba pouze šest namísto osmi článků Ni-Mh, což uspoří někdy i drahocenné gramy. Je zapotřebí dbát pozoru v případě, že chceme tímto článkem nahradit stávající v zařízeních využívající například více jak 2 články typu AA o napětí 1,5 V. To by mohlo vést ke spálení přístroje a jeho úplnému znehodnocení. Proto si musíme uvědomit, zda přístroj disponuje nějakým napěťovým regulátorem či nikoliv. Některé přístroje však s těmito akumulátory z důvodu regulace napětí nefungují.⁴⁶

Tyto články jsou vyráběny firmou PowerGenix v několika velikostních a kapacitních provedeních. A to v rozmezí 1,5 Ah – 80 Ah od známého typu AA, až po vlastní rozměrově nenormalizované modely použité v profesionálních aplikacích.

⁴⁵ Battery Chemistry FAQ [online]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com>

⁴⁶ Tamtéž



U těchto článků je garantováno 100-500 nabíjecích cyklů, což je méně než u Ni-Mh. Z praxe víme, že skutečný počet cyklů je okolo 200. Samovybíjení se pohybuje mezi 8-13 % za 30 dní. Všechny druhy dostupných Ni-Zn článků PowerGenix, včetně jejich podrobných charakteristik jsou přiloženy v katalogových listech.

7.4 VÝKON

Použití těchto článků se doporučuje v zařízeních s vysokým proudovým odběrem. V opačném případě nedojde k využití celé kapacity článku a zařízení může přestat fungovat dříve z důvodu přítomného samovybíjení.

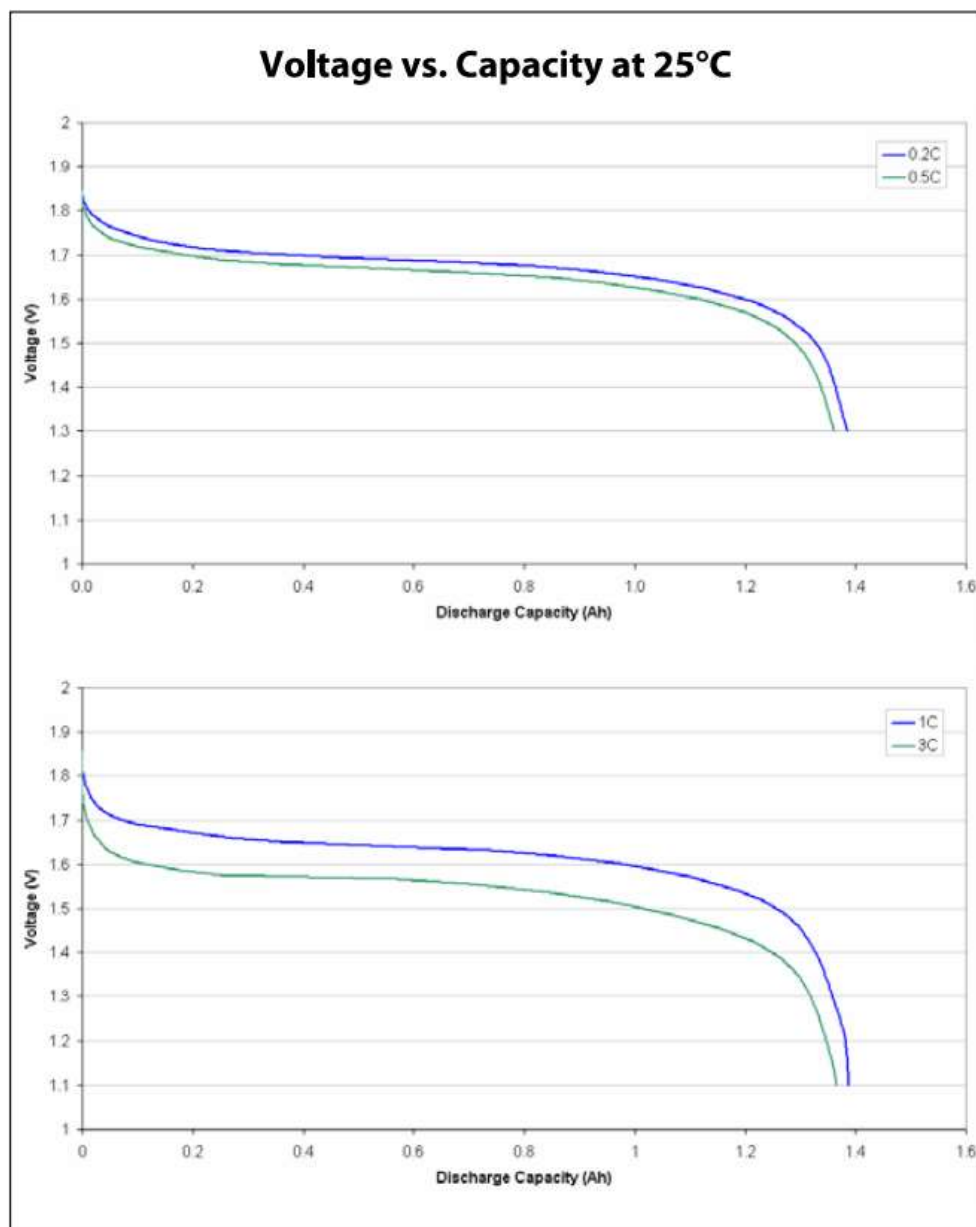
Pro AA články je typická kapacita $C = 1350 \text{ mAh}$ až 1500 mAh . Nabíjecí, ale i vybíjecí proud je odvozen od jmenovité kapacity článku C . Maximální nabíjecí proud je pro AA článek $0,5 \cdot I_t$, tedy přibližně 750 mA pro malé AA články. Maximální konstantní vybíjecí proud je úměrný C (kapacitě) článku.

Platí, že větší kapacitě článku náleží menší násobek kapacity pro jeho výsledný vybíjecí proud. Jeho hodnota se pohybuje v rozmezí 3 až $20 \cdot C$. Například článek o kapacitě 8 Ah má doporučený vybíjecí proud $I_v = 10 \cdot C = 80 \text{ A}$ a pro článek 80 Ah , platí $I_v = 2 \cdot C = 160 \text{ A}$. Pro nabíjení větších článků je doporučený nabíjecí proud $I_t = C$ a maximální nabíjecí proud $I_{tm} = 2 \cdot C$.⁴⁷ Teoretická hustota energie je 334 Wh/Kg , praktická však pouze $60 - 80 \text{ Wh/Kg}$.⁴⁸

Na obrázku č. 41 je zobrazena vybíjecí charakteristika článku AA proudy $0,2 \cdot C$, $0,5 \cdot C$, $1,0 \cdot C$ a $3 \cdot C$. Na levé ose je vyneseno napětí článku U (V) a na vodorovné ose získaná kapacita C (mAh).

⁴⁷ Data Sheets [online]. Dostupné z: <http://www.powergenix.com>

⁴⁸ Battery chemistry FAQ [online]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com/>



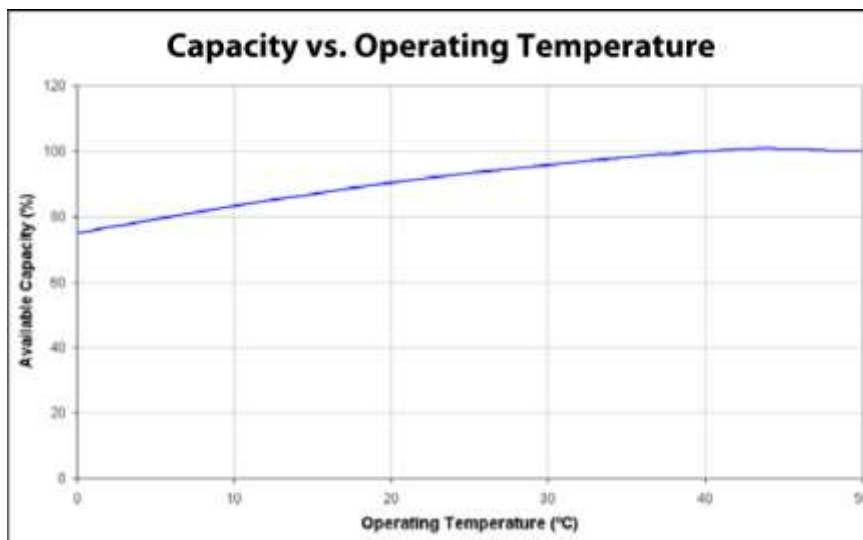
Obr. č. 32: Vybíjecí charakteristika Ni-Zn článku typ AA

(Zdroj: http://www.powergenix.com/files/powergenix/docs/pgx_nizn_aa_datasheet.pdf)

7.5 PROVOZ

Nabíjení by mělo probíhat při teplotách mezi 0 až 40 °C a vybíjení při teplotách 0 až 50 °C. Skladování po dobu jednoho měsíce by nemělo probíhat při kontinuálních teplotách okolí pod -20 °C a více jak 50 °C. Skladování po dobu jednoho roku je doporučeno za teplot od 0 °C do 40 °C.⁴⁹

⁴⁹ Ni-Zn AA datasheet [online]. Dostupné z: <http://www.powergenix.com>



Obr. č. 33: Kapacita AA článku v závislosti na teplotě

(Zdroj: http://www.powergenix.com/files/powergenix/docs/pgx_nizn_aa_datasheet.pdf)

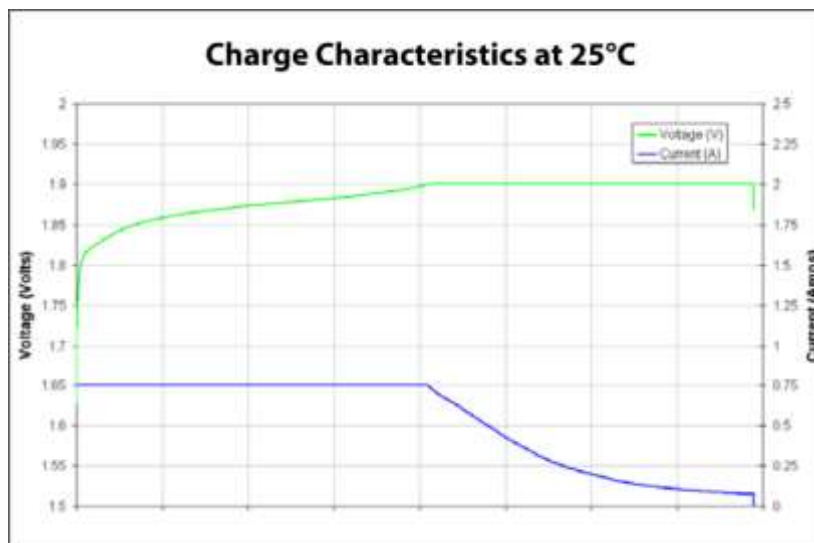
7.6 NABÍJENÍ

Pro nabíjení nelze užít běžné komerční přístroje určené k nabíjení Ni-Cd, nebo Ni-Mh článků, ale jsou zapotřebí speciální s adekvátním nabíjecím napětím i proudem. Nejprve se nabíjí konstantním proudem I_t do dosažení mezního napětí a následovně konstantním napětím, až do samovolného poklesu počátečního I_t na hodnotu $1/5$ až $1/10$.

PowerGenix neposkytuje žádné informace o tom, jak až mohou být jejich články vybity před opětovným nabíjením, aby zůstala zachována co nejvyšší životnost. Typická hodnota napětí nabíjitelných článků pro jejich úplné vybití je 1.1 V až 1.0 V. Může klesnout i na 0,6 V, to však přináší zanedbatelný výkonový zisk a má spíše negativní vliv na životnost článku.⁵⁰

V následujícím obrázku č. 34 jsou vyobrazeny nabíjecí charakteristiky článku typu AA. Na svislé ose vlevo je vyneseno napětí (V), vpravo proud (A) a vodorovná osa znázorňuje obecný časový úsek.

⁵⁰ NiZn (Nickel-Zinc) [online]. Dostupné z: <http://michaelbluejay.com>



Obr. č. 34: Nabíjecí charakteristika Ni-Zn článku typ AA

(Zdroj: http://www.powergenix.com/files/powergenix/docs/pgx_nizn_aa_datasheet.pdf)

7.7 VÝROBCI NI-ZN ČLÁNKŮ

Mezi primární výrobce se řadí firma POWERGENIX, následována čínskou distribucí firmami TURNIGY, PKCELL, TOPTECH BATTERY, DONGYANG POWERLION BATTERY. Cena v ČR se pohybuje od 25 do 70 Kč/Wh, zahraniční ceny jsou okolo od 10 do 20 Kč/Wh za běžné články typu AA, AAA. Uvedené ceny jsou převzaty z internetových obchodů <http://www.gme.cz/>, <http://shop.battex.cz/>, <http://battery.nabizi.cz>, www.ebay.com, www.hobbyking.com.



8 LI-Xx AKUMULÁTORY



Obr. č. 35: Různé druhy Li-Ion akumulátorových článků Panasonic
(Zdroj: Katalogový list výrobce Panasonic)

8.1 HISTORIE

Prapůvodcem sekundárních lithiových článků jsou články primární vynalezené v polovině šedesátých let dvacátého století. Ty se vyznačovaly vysokou měrnou energií a kapacitou, nízkým samovybitím a dalšími příznivými vlastnostmi. Velkým úspěchem tedy bylo zjištění, že je možné tyto články vyrobit i v dobíjecí verzi. Počátky výroby v 70. letech provázely problémy, jako pasivace elektrod užitím sulfidů kovů na kladnou elektrodu a kovového lithia na elektrodu zápornou. Objevovaly se problémy při nabíjení (tvorba jehliček lithia), které perforovaly separátor a docházelo k vnitřním zkratům. Nebo tvořilo vysoce reaktivní houbovitou hmotu o velkém povrchu, která spouštěla nepředvídatelné tepelné reakce.⁵¹

Počátkem osmdesátých let začaly pokusy s články, kde zápornou elektrodou byly sloučeniny LiWO_2 , $\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ nebo Li_9MoSe_6 , jako zdroj lithiových iontů Li^+ a kladnou elektrodou sloučeniny titanu, wolframu, niobu, vanadia nebo molybdenu. Výsledky však nebyly uspokojivé, protože články měly nízké napětí (1,8 až 2,7 V), nízkou kapacitu a energeticky

⁵¹ MAREK J. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004, s. 54.



náročnou a drahou výrobu. Velký pokrok přinesl 4. Mezinárodní seminář o nabíjecích bateriích, konaný v Deerfield Beach na Floridě v březnu 1990, kde zástupci firmy SONY představili novou technologii, která využívala jako aktivní materiál pro zápornou elektrodu směsi grafitu (uhlíku) obohaceného lithiem. Možnost elektrochemického vložení iontů Li^+ do grafitu (interkalace) byl znám již od roku 1975, ale toto bylo první praktické využití.⁵²

V normách se lze setkat s označením lithiový akumulátor, akumulátor Li, **Li-Ion** akumulátor. Do této kategorie také patří akumulátor Lithium-polymer, označován jako **Li-Pol** a Lithium-Ferrous, označován jako **Li-Fe**, případně Li-FePo_4 , nebo **A123**.

V roce 1997 se vyrobilo 193 miliónů Li-Ionových článků. Z toho bylo 98 % vyrobeno na území Japonska v osmi továrnách. Produkce Li-Ionových akumulátorů v této zemi je větší než produkce NiCd a NiMH akumulátorů.⁵³

8.2 KLADY A ZÁPORY

Mezi přednosti patří:

- Vysoké jmenovité napětí **3,6 V** pro Li-ion, **3,7 V** pro Li-pol, **3,3 V** pro Li-Fe
- Vysoká měrná energie 100 až 265 Wh/Kg
- Vysoké vybíjecí proudy u **Li-pol** a **Li-Fe**
- Nízká hmotnost
- Dlouhá životnost – 500 až 2000 cyklů
- Nízké samovybíjení
- Nepřítomnost paměťového efektu
- Dobrá bezpečnost
- Vysoká spolehlivost
- Lepší indikace zbytkové kapacity
- Nezávadnost pro životní prostředí

Mezi nevýhody patří:

- Vybíjecí i nabíjecí proud Li-ion omezen na $2 \cdot C$
- Větší vnitřní odpor Li-ion
- Minimální pracovní teplota do -20°C
- Velká náchylnost vůči přebíjení a podvybití, dojde k trvalému poškození

⁵² Historie [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info/>

⁵³ *Tamtéž*



8.3 PRINCIP

Podle složení kladné elektrody u Li-Xx, kde „Xx“ označuje technologii použitou na kladné elektrodě, na níž převládá buď kobalt, nikl, mangan, vanad, titan, niob, železo-fosfát, železo-yttrium-fosfát se liší i jejich konečné nabíjecí napětí a to 4,0 až 4,3 V. Záporná elektroda je vyráběna z uhlíkového materiálu u všech lithiových akumulátorů. Elektrolyt je buď kapalný, gelový, nebo polymerový.

Vyrábí se jak ve standardních válcových rozměrech, tak i jako prizmatické a knoflíkové články.⁵⁴ Všechny články tohoto Li-Ion, Li-Pol a Li-Fe musejí disponovat bezpečnostním obvodem, který v případě přebíjení, nebo nadměrné zátěže rozpojí obvod a nedojde tak k případné explozi článku.

Na obrázku č. 36 jsou uvedeny kombinace elektrod a elektrolytů dnes užívaných výrobcem Panasonic u Li-Ion akumulátorů.

Nickel Manganese Cobalt Type

Component	Material	Formula
Positive Electrode	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide	LiNiMnCoO ₂
Negative Electrode	Graphite	C
Electrolyte	Ethylene Carbonate – Solvent	C ₃ H ₄ O ₃
	Diethyl Carbonate – Solvent	C ₅ H ₁₀ O ₃
	Lithium Hexafluorophosphate – Salt	LiPF ₆

Cobalt Type

Component	Material	Formula
Positive Electrode	Lithium Cobalt Oxide	LiCoO ₂
Negative Electrode	Graphite	C
Electrolyte	Ethylene Carbonate – Solvent	C ₃ H ₄ O ₃
	Diethyl Carbonate – Solvent	C ₅ H ₁₀ O ₃
	Lithium Hexafluorophosphate – Salt	LiPF ₆

Nickel Cobalt Aluminum Type

Component	Material	Formula
Positive Electrode	Lithium Cobalt Nickel Aluminum Oxide	LiCoNiAlO ₂
Negative Electrode	Graphite	C
Electrolyte	Ethylene Carbonate – Solvent	C ₃ H ₄ O ₃
	Diethyl Carbonate – Solvent	C ₅ H ₁₀ O ₃
	Lithium Hexafluorophosphate – Salt	LiPF ₆

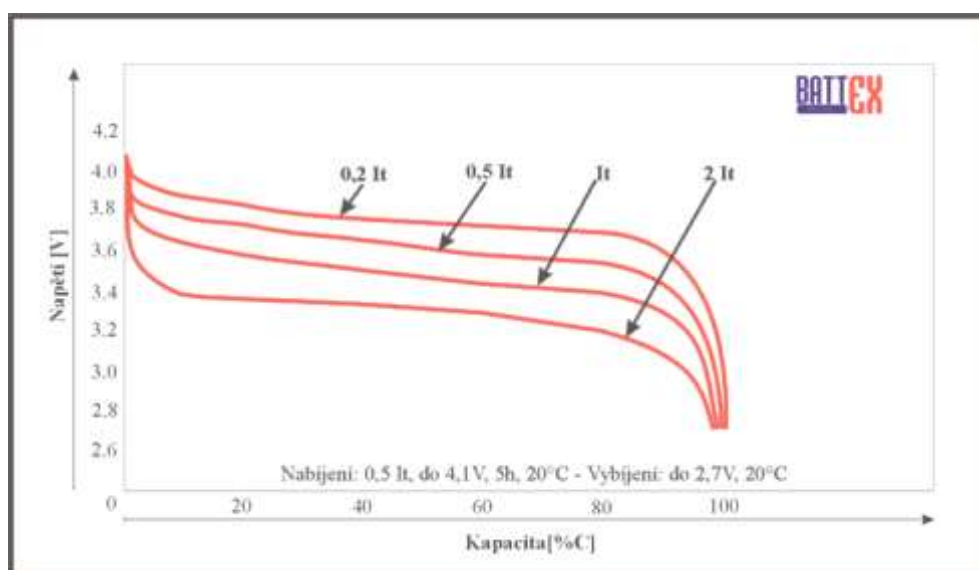
Obr. č. 36: Variabilita složení Li-Ion akumulátorů
(Převzato z: katalogového listu výrobce Panasonic, Příloha III.)

⁵⁴ Rozdělení hermetických lithiových akumulátorů [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



8.4 VÝKON

Li-Ion technologie disponuje měrným výkonem v rozpětí 100 až 265 Wh/Kg, jmenovité napětí článku je 3,6 V u některých typů 3,7 V. Konečné nabíjecí napětí 4,2 V/čl a doporučené konečné vybíjecí napětí 3,0 V/čl. Někteří výrobci uvádějí i 2,75 V/čl. Jednotlivé články se vyrábí v kapacitách od 100 do 10 000 mAh. Počet vybíjecích cyklů akumulátoru dosahuje 400 až 1200. Vybíjecí proudy se dnes již pohybují okolo $5 \cdot C$.⁵⁵ Několik vybíjecích cyklů o různých velikostech I_t je zobrazeno na obrázku č. 37.



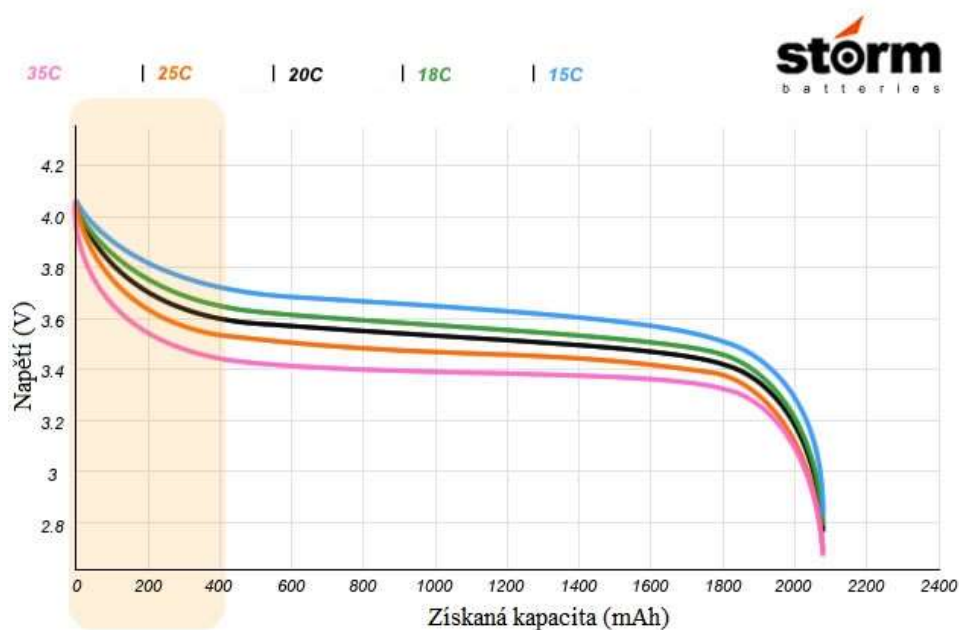
Obr. č. 37: Vybíjecí křivky Li-Ion akumulátoru pro různé vybíjecí proudy

(Převzato z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/data/4.5.png>)

Li-Pol akumulátory mají obdobný výkon a provozní parametry jako Li-Ion a to 130 až 200 Wh/Kg. Jednotlivé články se vyrábí v kapacitách od 50 do 20 000 mAh. Jmenovité napětí článku je 3,7 V. Oproti Li-Ion disponuje mnohanásobně většími vybíjecími proudy. Počátkem roku 2013 byly představeny výrobci TURNIGY, Thunder Power a několika dalšími nové typy článků se stálým vybíjecím proudem až $65 \cdot C$ o schopnosti krátkodobého přetížení až $130 \cdot C$.⁵⁶ Konečné vybíjecí napětí je 3,0 V/čl. Dosahují 600 až 1500 dobíjecích cyklů.

⁵⁵ Převzato z: katalogových listů výrobců Panasonic a AA Portable Power Corp

⁵⁶ Batteries & accesories [online]. Dostupné z: <http://www.hobbyking.com/>



Obr. č. 38: Vybíjecí křivky pro Li-Pol akumulátor Storm 2100 mAh

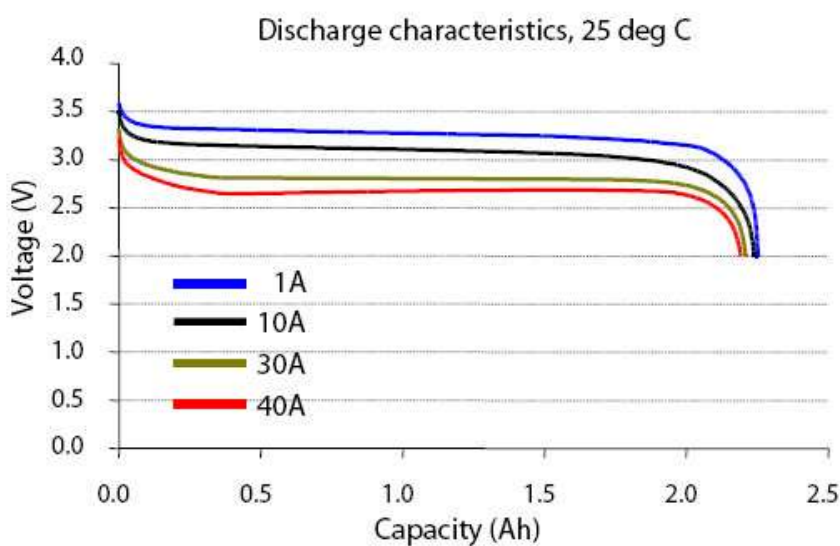
(Převzato z: <http://www.hobbywow.com/img/desc/11/storm-discharge-graph.jpg>)

Li-Fe akumulátory dosahují teoretické měrné energie 518 Wh/Kg. Prakticky je to přibližně 130 Wh/Kg.⁵⁷ Jmenovité napětí článku se udává 3,2 V. Konečné dobíjecí napětí je stanoveno na 3,6 V s možností překročení až na 4,2 V, kdy dojde k mírnému poškození akumulátoru avšak bez významného vlivu na jeho provozní vlastnosti.⁵⁸ Obvyklá hodnota vybíjecího proudu je 20 až 30·C s krátkodobým přetížáním až 40·C. U těchto článků bývá zvykem dosažení i více jak 2000 dobíjecích cyklů.⁵⁹

⁵⁷ FAQ for LiFePO4 battery [online]. Dostupné z: <http://www.globelws.com>

⁵⁸ A123-3.3VB Lithium Ion 2300mAh single cell battery [online]. Dostupné z: <http://www.hobbyking.com>

⁵⁹ FAQ For LiFePO4 Battery [online]. Dostupné z: <http://www.globelws.com>



Obr. č. 39: Vybíjecí křivka pro Li-Fe Hobbico Life 2200 mAh

(<http://innov8tivedesigns.com/rcgroups/A123Disc.JPG>)

8.5 PROVOZ

U těchto článků je nutné dbát zvýšené pozornosti na jejich stav při nabíjení i vybíjení. Překročením výrobcem předepsaných mezních hodnot, byť by se jednalo o pouhé desetiny či setiny voltu, dochází k rozpadu elektrod a tím i k úplnému znehodnocení akumulátoru. Ve všech aplikacích vždy doprovází Li-Xx akumulátor nějaká elektronika. Její význam spočívá ve vyrovnávání napětí jednotlivých lithiových akumulátorů v baterii při nabíjení i vybíjení, většinou je tam ještě proudová pojistka proti zkratu a teplotní čidla. Nesmí se však přeceňovat význam této elektroniky, která většinou řídí i konečné nabíjecí a konečné vybíjecí napětí, ale někdy je to pouze jen z hlediska bezpečnosti. Proto musejí být akumulátory v některých aplikacích při vybíjení kontrolovány manuálně. K čemuž slouží jednoduché, nebo složitější Li-Xx testery.⁶⁰



Obr. č. 40: Jednoduchý Li-Pol TESTER

(Dostupné z: <http://www.pyramidmodels.com/shop/shopimages/Lipo-tester-3.jpg>)

⁶⁰ Používání Li-Ion akumulátorů v praxi [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>



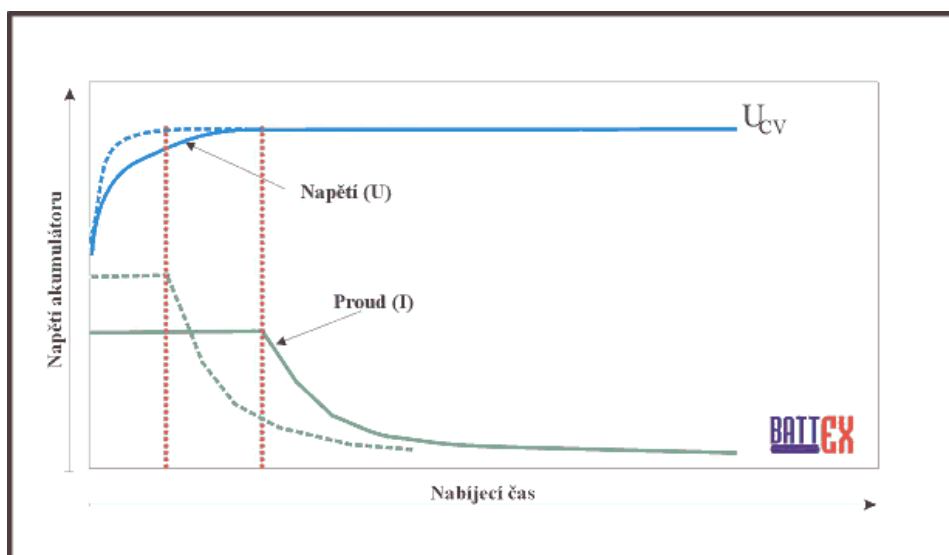
Vzhledem ke hmotnostem článku Li-Ion a Li-Pol, které patří v této době mezi nejlehčí, je jejich primární užití v širokém spektru mobilních aplikací.

Provozní teplota pro články Li-Ion a Li-Pol se pohybuje v rozpětí od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Provozní teplota Li-Fe se udává od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při vyšších teplotách nad tuto mez, dochází k jejich velice rychlé degradaci.⁶¹

8.6 NABÍJENÍ

Pro nabíjení lithiových akumulátorů se používá napět'ové nabíjení, tedy metoda, označovaná jako **CCCV**. Při stanovení konečného nabíjecího napětí je nutno dbát na katalogové údaje výrobce, protože se vyrábějí akumulátory s různými druhy kladných elektrod a podle toho se konečné nabíjecí napětí pohybuje nejčastěji od 3,6 V do 4,3 V. Nejběžnějším typem, který se vyskytuje v aplikacích na trhu, je akumulátor s kladnou kobaltovou elektrodou, která má konečné nabíjecí napětí 4,2 V. Ale jsou i knoflíkové lithiové akumulátory, které mají konečné nabíjecí napětí např. od 1,3 do 2,0 V.⁶²

Pokud je správně nastaveno konečné nabíjecí napětí u lithiových akumulátorů, nedochází k přebíjení tak, jako tomu je u NiCd a NiMH akumulátorů a zároveň nedochází k jejich brzké degradaci.⁶³



Obr. č. 41: Nabíjecí charakteristiky CCCV pro lithiové akumulátory
(Převzato z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/data/5.10.png>)

⁶¹ Doped LiFePO₄ [online]. Dostupné z: <http://dspace.mit.edu>

⁶² Nabíjení lithiových akumulátorů [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info>

⁶³ Tamtéž



8.7 SKLADOVÁNÍ⁶⁴

Optimální podmínky pro skladování lithiových akumulátorů jsou 0 až +25 °C teploty a 65 ± 20 % relativní vlhkosti. Tyto akumulátory a baterie se skladují **vždy** v nabitém stavu. Povolené rozsahy pro skladování jsou uvedeny v technických specifikacích.

Přestože mají velmi nízké samovybíjení, doporučuje se každých 6 měsíců (minimálně každých 12 měsíců) je nabít na 50 % jmenovité kapacity. Toto opatření je hlavně z důvodů elektroniky, která je součástí Lithiových akumulátorů a má neustálý nepatrný odběr energie. Pokles napětí pod povolenou mez může způsobit elektronické odpojení akumulátoru od kontaktů baterie a díky tomu již akumulátor nepůjde přes elektroniku nabít.

Pokles napětí může způsobit náchylnost elektroniky na statickou energii. V případě složitější elektroniky, pak vymazání důležitých hodnot z pamětí elektronických obvodů a z toho také vyplývá, že **po vybití** akumulátoru nebo baterie se musí články co nejdříve také **nabít**.

8.8 VÝROBCI

Mezi hlavní výrobce lithiových akumulátorů se řadí AA Portable Power Corp, A123 systems, Altairnano, Bestgo Power, Collection Power Sources, Duracell, EEMB, Electrochem, Exide technologies, GP batteries, Maxell, Kimren Global, Panasonic, Shenzen Napel Power, SANYO, SAFT, TOCAD America.

Většina těchto firem také vyrábí Ni-Cd, Ni-Mh, Ni-Zn akumulátory.

Obvyklá cena Li-Ion akumulátorů v ČR se pohybuje v rozmezí od 18 do 40 Kč/Wh. V zahraničí se tyto ceny pohybují od 4 do 20 Kč/Wh. Cena Li-Pol a Li-Fe akumulátorů v ČR a zahraničí je průměrně o 20% vyšší. Uvedené ceny jsou převzaty z internetových obchodů <http://www.gme.cz/>, <http://shop.battex.cz/>, <http://battery.nabizi.cz>, www.ebay.com, www.hobbyking.com.

⁶⁴ Skladování lithiových akumulátorů [online]. Dostupné z: <http://www.battex.info/>



ZÁVĚR

Dnešní sekundární články již disponují vysokou akumulovanou energií a dají se tedy využít jako spolehlivý zdroj energie nejen u menších mobilních aplikací, ale i v dopravním průmyslu. Hlavními faktory pro toto užití je především jejich účinnost, rychlost nabíjení, životnost a vysoká proudová zatížitelnost.

V následující tabulce jsem shrnul nejzákladnější charakteristiky moderních sekundárních článků. Mohou sloužit v rychlém rozhodování při výběru vhodného akumulátoru pro danou aplikaci.

Tab. č. 4: Sjednocení a porovnání moderních sekundárních zdrojů elektrické energie

Systém	Měrná energie (Wh/Kg)	Napětí na článek (V)	Životnost při praktickém použití	Průměrná cena v ČR vs. zahraničí (Kč/Wh)	Hmotnost akumulátoru*
Pb-PbO ₂	30 až 35	2.0	400	5/5	*****
Ni-Cd	40 až 45	1.2	1000	35/23	****
Ni-Zn	55 až 60	1.65	200	48/15	***
Ni-Mh	60 až 65	1.2	500	45/12	***
Li-Fe	50 až 130	3.3	1500+	35/15	**
Li-pol	130 až 200	3.7	600+	35/15	*
Li-ion	100 až 265	3.6	400	29/12	*

* poměrná nejnižší dosažitelná hmotnost akumulátoru o výkonu 1kW

Ačkoliv jsou dnes lithiové akumulátory na vysoké úrovni, není zaručeno, že jejich využití do budoucna nebude moci zastat jiná technologie. Na řadu totiž mohou přijít články palivové, které lze využít ke kombinované výrobě elektrické energie s účinností až 45 %.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

Literatura

ČENĚK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0.

MAREK, Jiří. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL, 2004. 141 s. ISBN 80-86230-34-1.

NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty*. 1 vyd. Praha: BEN, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

Internetové zdroje

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/skladovani-lithiovych-akumulatoru>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/historie>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/skladovani-hermetickych-nicd-akumulatoru>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/princip>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/hermeticke-akumulatory/ni-zn-akumulatory>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/metody-vhodne-pro-nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru>

Battex. Výrobci a značky. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/vyrobci-a-znacky/PowerGenix>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektrochemicke-zdroje-proudu-obecne/definice>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?id=186>

Battex. Baterie a akumulátory. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/pouzivani-li-ion-akumulatoru-v-praxi>



Battex. Slovníček a pojmy. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?p=slovnicek-a-pojmy&id=541>

Battex. Slovníček a pojmy. www.battex.info [online]. © 2009–2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?p=slovnicek-a-pojmy&id=106>

Dspace@MIT. <http://dspace.mit.edu> [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/40617/54810372.pdf>

Elektromobily. Olověné baterie. <http://elektromobil.vseznamu.cz> [online]. © 2010 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/oloveny-akumulator>

Elnika. Akumulátory a specifikace. www.elnika.cz [online]. © 2005–2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.elnika.cz/elnika.php?p=cze/akumulatory-specifikace>

Fronius. Historie akumulátoru. www.fronius.cz [online]. © 2006–2013 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.fronius.cz/cps/rde/xchg/SID-3AF8AB08-E50DF124/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_8177.htm

Globe light & water systems. FAQ for LiFePO4 battery. www.globelws.com [online]. © 2011 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.globelws.com/battery.html>

GP batteries. Catalogue. www.gpbatteries.com [online]. © 2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.gpbatteries.com/INT/images/prod/catalogue/GeneralCatalogue.pdf>

History of Robotics: Timeline. www.robotshop.com [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/content/PDF/timeline.pdf>

Hobbyking. Batteries & Accessories. www.hobbyking.com [online]. © 2012 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/index.asp>

Michael Blujay's. NiZn. <http://michaelbluejay.com> [online]. © 1999–2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://michaelbluejay.com/batteries/rechargeable.html>

Michael Blujay's. NI-MH. <http://michaelbluejay.com> [online]. © 1999–2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://michaelbluejay.com/batteries/rechargeable.html>

Mobile robot. <http://en.wikipedia.org> [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_robot

Powergenix. Data Sheets. www.powergenix.com [online]. © 2011 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.powergenix.com/?q=technology/technical-documents>

Powergenix. Ni-Zn datasheet. www.powergenix.com [online]. © 2011 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: http://www.powergenix.com/files/powergenix/docs/pgx_nizn_aa_datasheet.pdf

Powerstream. Secondary batteries. www.powerstream.com [online]. © 2000–2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com/BatteryFAQ.html#pb>



Powerstream. Battery Chemistry FAQ. www.powerstream.com [online]. © 2000–2013 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com/BatteryFAQ.html>

Tutr. Slovník. www.tutr.cz [online]. © 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.tutr.cz/slovník/sulfatace>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C	[Ah]	jmenovitá kapacita článku
C _n	[Ah]	zaručená kapacita článku
C _r	[Ah]	jmenovitá kapacita článku
čl	[-]	článek
I _t	[A]	nabíjecí proud
I _{tm}	[A]	maximální nabíjecí proud
I _v	[A]	vybíjecí proud
n	[hod]	časová základna
U	[V]	jmenovité napětí článku
U _n	[V]	nabíjecí napětí
U _v	[V]	vybíjecí napětí



SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: Účinnost nabíjení ovlivněná teplotou.....	30
Tab. č. 2: Základní rozměrové typy válcových NiMH i NiCd akumulátorů.....	42
Tab. č. 3: Samovybíjení v závislosti na kapacitě a druhu slánku.....	43
Tab. č. 4: Sjedení a porovnání moderních sekundárních zdrojů elektrické energie.....	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Speciální kolový podvozek	12
Obr. č. 2: Diferenční kolový podvozek	12
Obr. č. 3: Směrový kolový podvozek s natáčenou přední nápravou (Ackermanův)	12
Obr. č. 4: Pásový podvozek diferenční	12
Obr. č. 5: Kráčejíci 6ti nohý podvozek	13
Obr. č. 6: Kulhavý podvozek	13
Obr. č. 7: Šplhající podvozek	13
Obr. č. 8: Plazivý podvozek	14
Obr. č. 9: Hybridní kráčejíci-kolový podvozek	14
Obr. č. 10: Přeměna energií	15
Obr. 11: Pokles napětí při vybíjení	16
Obr. č. 12: Pokles napětí vlivem paměťového efektu u NiCd akumulátoru	22
Obr. č. 13: Akumulátorová řada VARTA	24
Obr. č. 14: Skladba bezúdržbového gelového olověného akumulátoru.....	25
Obr. č. 15: Rozdělení různých konstrukcí akumulátorů dle účelu použití	26
Obr. č. 16: Vybíjecí charakteristiky akumulátoru VARTA 260Ah	27
Obr. č. 17: Vliv teploty na stav a vlastnosti olověného akumulátoru	28
Obr. č. 18: Kapacita v závislosti na počtu a hloubce vybíjecích cyklů	29
Obr. č. 19: Bod tuhnutí elektrolytu v závislosti na jeho hustotě	29
Obr. č. 20: Vliv teploty na samovybíjení olověných akumulátorů	31
Obr. č. 21: Různé typy Ni-Cd akumulátorů	33
Obr. č. 22: Rozdělení hermetických NiCd akumulátorů podle výroby a typu elektrod	35
Obr. č. 23: Konstrukce hermetického NiCd akumulátoru válcového tvaru	35
Obr. č. 24: Vybíjecí křivky různými proudy u akumulátorů pro všeobecné použití při 20°C	36
Obr. č. 25: Samovybíjení u NiCd akumulátorů pro všeobecné použití	38
Obr. č. 26: Samovybíjení u NiCd akumulátorů pro trvalé dobíjení a do zvýšených teplot	38
Obr. č. 27: Různé typy Ni-MH akumulátorů	40
Obr. č. 28: Složení Ni-MH akumulátoru	41



Obr. č. 29: Vliv teploty na nabíjení NiMh článků	44
Obr. č. 30: Vliv teploty na skladování NiMh článků	45
Obr. č. 31: Různé typy Ni-Zn výrobce Powergenix	46
Obr. č. 32: Vybíjecí charakteristika Ni-Zn článku typ AA	49
Obr. č. 33: Kapacita AA článku v závislosti na teplotě	50
Obr. č. 34: Nabíjecí charakteristika Ni-Zn článku typ AA	51
Obr. č. 35: Různé druhy Li-Ion akumulátorových článků Panasonic	52
Obr. č. 36: Variabilita složení Li-Ion akumulátorů	54
Obr. č. 37: Vybíjecí křivky Li-Ion akumulátoru pro různé vybíjecí proudy	55
Obr. č. 38: Vybíjecí křivky pro Li-Pol akumulátor Storm 2100 mA	56
Obr. č. 39: Vybíjecí křivka pro Li-Fe Hobbico Life 2200 mAh	57
Obr. č. 40: Jednoduchý Li-Pol TESTER	57
Obr. č. 41: Nabíjecí charakteristiky CCCV pro lithiové akumulátory	58



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I. Vybíjení Li-Ion článku AA portable power corp proudem $5 \cdot C$	CD
Příloha II. Vybíjení Li-Ion článku AA portable power corp proudem $0,5 \cdot C$	CD
Příloha III. Informační list výrobce Panasonic	CD
Příloha IV. Katalogový list Li-Ion akumulátorů výrobce Panasonic	CD
Příloha V. Datový list Li-Pol akumulátoru výrobce Tenergy	CD
Příloha VI. Katalogový list výrobce GP	CD
Příloha VII. Datový list Ni-Zn článku AA výrobce PowerGenix	CD
Příloha VIII. Datový list Ni-Zn 8Ah prizmatického článku výrobce PowerGenix	CD
Příloha IX. Datový list Ni-Zn článku C výrobce PowerGenix	CD
Příloha X. Datový list Ni-Zn 80Ah prizmatického článku výrobce PowerGenix	CD
Příloha XI. Datový list Ni-Zn 40Ah prizmatického článku výrobce PowerGenix	CD
Příloha XII. Datový list olověného akumulátoru VARTA 260 Ah	CD
Příloha XIII. Datový list olověného akumulátoru VARTA 10 Ah	CD
Příloha XIV. Datový list olověného gelového akumulátoru VARTA 19 Ah	CD
Příloha XV. Datový list olověného bezúdržbového akumulátoru VARTA 24 Ah	CD
Příloha XVI. Datový list olověného údržbového akumulátoru VARTA 30 Ah	CD